

Mikko Kiiskinen

Koneohjauksen ongelmat työmaalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

21.4.2015

Tekijä(t) Otsikko	Mikko Kiiskinen Koneohjauksen ongelmat työmaalla
Sivumäärä Aika	45 sivua + 3 liitettä 21.5.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Infrarakentaminen
Ohjaaja(t)	Mika Uusitalo, Vastaava työnjohtaja Tapani Järvenpää, Lehtori
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee tietomallipohjaisen rakennusprojektin koneohjauksen ongelmia työmaakäytössä projektin urakoitsijan näkökulmasta. Usein kirjallisuudessa liitetään tietomallintamiseen lupauksia siitä, että tietomalleja hyödyntämällä voidaan tehostaa rakennusprojektin tuotannosuunnittelua ja rakentamista. Koneohjausjärjestelmän hyödyntäminen rakennusprojekteissa on yleistynyt viimeisten vuosien aikana, mutta laajamittaiseksi käytännöksi se ei ole vielä levinnyt rakennusosalalla.</p> <p>Työn tavoitteena oli kartoittaa koneohjausjärjestelmän käytössä ilmeneviä ongelmia työmaalla, sekä löytää niihin mahdollisia ratkaisuja työmaalla koneohjausjärjestelmän kanssa työskentelevien avuksi. Opinnäytetyön rakenne koostuu työmenetelmien, ongelmien pääsyiden sekä ratkaisumallien kirjallisuuskatsauksesta ja koneohjauksen pilottihankkeiden avulla saatujen tuloksien läpikäymistä. Tämän jälkeen tutustuttiin koneohjausjärjestelmän laitteistoon ja sen mukana tuomiin muutoksiin työmaalla, sekä mitä järjestelmän toimimiseen vaaditaan ja miten siitä saadaan paras hyöty irti. Pääpaino tutkimuksessa oli koneohjausjärjestelmän kanssa esiinnousseiden ongelmien tutkiminen, ongelmien analysointi ja niiden ratkaisujen läpikäynti.</p> <p>Häiriötuntien seurannan, henkilöhaastatteluiden ja aikaisempien häiriöiden ylöskirjaamisen perusteella voidaan todeta, että koneohjausjärjestelmä ei ole täysin ongelmaton. Voidaan todeta, että ympäristöolosuhteet vaikuttavat koneohjausjärjestelmään eniten, ja että laitteiston vikoja koneohjausjärjestelmässä esiintyy jonkin verran. Tämän insinöörityön perusteella voidaan päätellä, että koneohjausjärjestelmä on ehdottomasti infrarakentamisessa tehokkuutta nostava järjestelmä, mutta vain jos työmaalla on sopivat edellytykset sen käyttöön.</p>	
Avainsanat	Koneohjaus, tietomalli, tuotannonhallinta, infra-ala, ongelmat

Author(s) Title	Mikko Kiiskinen Problems of machine control system in construction sites
Number of Pages Date	45 pages + 3 appendices 21 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Environmental Construction
Instructor(s)	Mika Uusitalo, Site manager Tapani Järvenpää, Lecturer
<p>This thesis focuses on the problems of machine control systems in an information modelled construction site from a contractor's point of view. It is often assumed in the information modeling literature that the efficiency of the production planning and building can be increased by utilizing information modeling. The use of machine control system in construction has increased over the last years but it has not yet become a standard in the construction industry.</p> <p>The objective of the thesis was to search for problems appearing with the use of machine control systems in a construction site and to find possible solutions to help the people working with the system. The thesis consists of a literature review, on the working methods- and the main causes of problems and a review of some pilot projects and results obtained from them. Hereafter, the thesis focuses on the actual machine control system in an excavator and on the equipment related to the system and how it affects the construction site and how the system should be used in order get the greatest benefit from it. The key objective was to examine the emerged problems, analyze the problems and walk through the solutions.</p> <p>Based on the results obtained from tracking the failure hour's data as well as personal interviews, it can be concluded that the machine control system is not trouble-free. The results suggest that environmental conditions affect the machine control system the most and that there are some problems in the hardware. The thesis clearly shows the increase in efficiency in infrastructure sector but only if the site has proper conditions for the use of the machine control system.</p>	
Keywords	Machine control system, model-based design, excavator, problems

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset	1
1.2	Työnantajan esittely	3
2	Tutkimusmenetelmä	4
2.1	Työmenetelmät	4
2.2	Erilaiset ongelmat ja niiden ratkonta yleisesti	5
3	Koneohjaus	7
3.1	Koneohjausjärjestelmän esittely	7
3.1.1	Koneohjauksen pilottihankkeet	9
3.1.2	Saavutetut hyödyt työmaalla	14
3.2	Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä	15
3.2.1	Toimintaperiaate	16
3.2.2	Laitteisto	17
3.2.3	Tiedonsiirto	21
3.2.4	Muutokset työtapoihin työmaalla	24
4	Koneohjauksen ongelmat	29
4.1	Riskit koneohjauksessa	29
4.2	Laitteistosta johtuvat ongelmat	30
4.2.1	Laitteiston viat työkoneissa	30
4.2.2	Viat tukiasemissa	34
4.2.3	Ohjelmistojen ja suunnitelmien luomat ongelmat	35
4.3	Tiedonsiirrosta johtuvat ongelmat	36
4.3.1	Ympäristön luomat haasteet signaalin kuuluvuuteen	36
4.3.2	Satelliittien signaalista johtuvat kuuluvuusongelmat	38
5	Tulokset	40
5.1	Helsingin Kruunuvuorenrannan länsiosan rakentaminen	40
5.2	Espoon runkovesijohto	42
6	Yhteenveto	45
	Lähteet	46

Liitteet

Liite 1: Häiriötuntien seurantalomake

Liite 2: Muistilista koneohjausjärjestelmään liittyvien ongelmien poistamiseksi

Liite 3: Rakennepintojen pintatunnukset

Sanasto

Arina	Yleisesti maa-aineksesta tehty putkikaivannon pohja. Voidaan tehdä myös teräksestä, betonista ja puusta.
Asennusalusta	Arinan päälle tehtävä asennusalusta putkelle tai kaivolle.
BIM	<i>Building Information Model</i> . Rakennuksen tietomalli.
Bluetooth	Avoin standardi laitteiden langattomaan kommunikointiin lähietäisyydellä.
Inframalli	Tietomalli infrarakenteista.
Infrarakentaminen	Pitää sisällään kaiken muun rakennetun ympäristön paitsi talonrakennukset.
Koordinaattijärjestelmä	Koordinaatiston määrittely parametrein. Järjestelmän luominen onnistuu ilman maastomittauksia
LandXML-formaatti	Infrasuunnittelmille tehty tiedostoformaatti.
Massatalous	Maa- ja kalliomassojen hankinnasta ja käsittelystä aiheutuvat kustannukset.
Moduuli	Itsenäinen osa, jollaisista voidaan koota kokonaisuuksia.
Perämies	Kaivinkoneen työpari, jonka tehtäviin kuuluu kaivannon korkojen seuranta, putkien ja kaivojen asentamisesta sekä olemassa olevien rakenteiden tarkkailua.
Taiteviiva ja pinta	Kuvaavat eri rakennepintoja, joista tuotemalli koostuu.
Tietomalli	Esimerkiksi rakenneosaa kuvaavat tiedot tuotetietomallin mukaisesti jäsennettynä, ja tallennettuna tiedostona, tietokone-sovelluksilla tulkittavissa olevassa muodossa.

1 Johdanto

Rakennusalalla teknologian kehitys näkyy koko ajan enemmässä määrin. Infrarakentaminen ei ole tässä poikkeus ja koneisiin sekä työtapoihin on tullut paljon muutoksia uuden teknologian myötä. Alalla vallitsee erittäin kova kilpailu ja etua muihin kilpailijoihin pyritään löytämään jatkuvasti. Infrarakennushankkeissa pyritään hyödyntämään työkoneen eri paikannustekniikoita ohjaamaan tai opastamaan niiden liikkeitä. Perinteisiä maanrakennustöitä voidaan nykyisin toteuttaa työkoneisiin asennetuilla koneohjausjärjestelmillä entistä tehokkaammin sekä vähemmillä resursseilla. Suurimman muutoksen koneohjaus on aiheuttanut mittaustyöhön, jonka luonne on siirtynyt enemmän työkoneisiin ja perinteinen mittaaminen on muuttunut enemmän kontrollimittaamiseksi.

Opinnäytetyön alkuluvuissa käydään läpi opinnäytetyön taustoja, työssä käytettyjä työmenetelmiä sekä ongelmanratkontaa yleisesti. Alkuluvuissa esitellään myös koneohjausta yleisesti, käydään läpi varhaisia tutkimuksia sen käytöstä, sekä miten tehokasta koneohjausjärjestelmän käyttö kaivinkoneessa on tällä hetkellä verrattuna perinteiseen työtapaan. Lisäksi työssä käsitellään koneohjauksen roolia infrahankkeen läpiviennissä, sekä esitellään tulevaisuuden rakentamisen näkymiä tietomallintamisen muodossa. Alun jälkeen työssä käydään läpi kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä ja siinä käytettävää laitteistoa ja tarkastellaan sen tuomia muutoksia työmaalla, sekä mitä koneohjausjärjestelmän saumattomaan toimimiseen vaaditaan ja miten siitä saadaan suurin hyöty irti. Pääpaino tutkimuksessa on saada selville eri ongelmat koneohjausjärjestelmän käyttöön liittyen työmaalla sekä löytää niihin mahdolliset ratkaisut. Tutkimustuloksilla pyritään edes auttamaan koneohjausjärjestelmän toimivuutta, löytämällä ja vähentämällä ongelmien määrää työmaatoteutuksessa.

Työssä keskitytään kaivinkoneeseen asennettuun koneohjausjärjestelmään. Tulokset osoitetaan prosentuaalisesti sekä omien johtopäätösten pohjalta.

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset

Opinnäytetyön alkoi YIT Rakennus Oy:n toimeksiantona tammikuussa 2015. Projektin ensimmäisessä palaverissa päätettiin, että työssä tutkitaan koneohjausjärjestelmän

ongelmia työmaakäytössä ja aiheesta tehdään opinnäytetyö. Tavoitteena oli saada luotua kattava selvitys kaivinkoneessa olevasta koneohjausjärjestelmästä ja tutkia, miten runsaasti koneohjausjärjestelmässä on ongelmia työmaakäytössä, ongelmien laatua ja vertailla niistä syntyviä haittoja, ajallisesti sekä kustannusten osalta. Projektin taustat ulottuvat kuitenkin jo muutaman vuoden taakse, jolloin koululle tehtävässä projektityössä käsiteltiin koneohjauksen tuomista työmaalle työnjohtajan näkökulmasta. Silloinen työpari Mika Lillsund on myöhemmin tarkastellut opinnäytetyön nimissä YIT Rakennus Oy:lle koneohjauksen hyötyjä ja tehoja verrattuna perinteiseen maanrakennustapaan. Olikin luontevaa syventyä koneohjaukseen vielä lisää tehdä siihen liittyen opinnäytetyö. YIT Rakennus Oy:n puolelta tarkoituksena on, että opinnäytetyö tukee koneohjausjärjestelmän käyttöä ja parantaa sen tehokkuutta. Opinnäytetyön lukemalla pystyy kuka tahansa asiasta kiinnostunut saamaan hyvän käsityksen, mikä koneohjausjärjestelmä on, miten se toimii ja mitä ongelmia sen kanssa on tullut esille sekä miten niitä voidaan pyrkiä vähentämään.

Yhtenä tavoitteena on, että lukija pystyy hyödyntämään opinnäytetyötä oman hankkeensa suorittamisessa. Lisäksi hänen ei tarvitse miettiä kaikkea aivan alusta tai tehdä samoja virheitä, joita edellisissä työmaa kohteissa on tehty. tavoitteena on kertoa koneohjaus-työkalusta ja sen ongelmista työmaakäytössä yksityiskohtaisesti, mahdollisimman monipuolisesti ja perustellen. Opinnäytetyön tavoitteena on lisäksi liittää teoria ja työmailta saadut elävän elämän esimerkit yhdeksi helposti luettavaksi kokonaisuudeksi. Näin lukija pystyy saamaan entistä paremman kuvan koneohjausjärjestelmästä, sen käytöstä ja siihen liittyvien ongelmista ja niiden ratkaisuista.

Tutkimukseen liittyvä ongelmienkartoitus suoritettiin YIT:n työmaakohteissa Espoossa ja Helsingissä seuraamalla koneohjausjärjestelmän asennetun kaivinkoneiden työntekoa reaaliaikaisesti useamman kuukauden ajalta. Tutkimusalueena toimivat suurimmaksi osaksi Helsingin Kruunuvuoren rannassa oleva Koirasaarentien rakennustyömaa sekä sen yhteydessä rakennetut kerrostaloalueen pohjien esirakentaminen, pientalokohteiden tiet ja kunnallistekniikka. Osa opinnäytetyön toteutukseen tarvittavasta materiaalista saatiin Espoon Kuurinniityssä tehtävältä päävesijohdon rakennustyömaalta. Kaikki tutkimusta varten seuratut kaivutilanteet suoritettiin normaaleissa työtilanteissa, puuttumatta työntekoon. Työssä huomioidaan myös rakentamiseen tarvittavan mittauksen tarve ja miten mittausalanammattilaisen toimenkuva on muuttunut koneohjausjärjestelmän myötä sekä millaisia haasteita

koneohjausjärjestelmät luovat heidän työllensä. Tulokset saatiin työnseurannalla ja työmaavierailuiden yhteydessä suoritetuista henkilöhaastatteluista, joissa kerättiin tutkimusaineistoa järjestelmän parissa työskenteleviltä käyttäjiltä ja asiantuntijoilta.

Opinnäytetyö rajataan koskemaan pelkästään työmaalla ilmeneviä ongelmia koneohjaukseen liittyen. Lisäksi koneohjauksen ongelmia kuvataan näkökulmasta, jossa yksityinen yritys on työmaan toteuttajana. Tähän päädyttiin, koska olemassa oleva teoria on tästä näkökulmasta kirjoitettu ja opinnäytetyön toimeksiantaja on yksityinen yritys – YIT Rakennus Oy.

1.2 Työnantajan esittely

YIT on Suomen suurimpia rakennusyrityksiä, jonka toimialueena ovat Suomen lisäksi Pohjoismaat, Keski-Eurooppa, Venäjä ja Baltian maat. Suomen rakentamisen liiketoiminta-alue jakautuu infrarakentamisen, asuntorakentamisen ja toimitilarakentamisen palveluihin. YIT tarjoaa palveluita koko elinkaaren eri vaiheissa, kaikilla rakentamisen ja kiinteistötekniikan osa-alueilla. YIT on ollut kehittämässä infrastruktuuria maa- ja vesirakentaminen osalta kotimaassa ja ulkomailla.

Tämän lisäksi YIT panostaa kiinteistötekniisiin ratkaisuihin ja kiinteistötekniikan huoltopalveluihin. Kesäkuussa 2013 kilpailutilanteen kiristyessä YIT Oyj jakautui kahdeksi erilliseksi pörssiyhtiöksi, rakennustoimintaan keskittyvään YIT:hen sekä uuteen, kiinteistöpalveluita tarjoavaan Caverion Oyj:hin. [1.]

2 Tutkimusmenetelmä

Menetelmien valinnan lähtökohtana oli määritellä, minkälaista tietoa tarvitaan ja mistä sitä on saatavilla [2, s.184]. Opinnäytetyön tavoitteet ja rajaukset muodostivat työn vallitseviksi tietolähteiksi aikaisemmin koneohjausjärjestelmää tutkivat työt ja koneohjauksen parissa työskentelevät ihmiset. Opinnäytetyötä varten kerättiin tietoa ja asiantuntemusta myös omien kokemusten ja työmailta saatujen tuloksien pohjalta. Koneohjausjärjestelmän käyttöä olen seurannut opinnäytetyötä silmällä pitäen ulkopuolisena tarkkailijana sekä sen käyttöön olen osallistunut työnjohtajan näkökulmasta.

Koneohjausjärjestelmiin keskittyvää materiaalia tai tietoa on vähän saatavilla – käytännössä pelkästään muiden yritysten puolesta tehdyt opinnäytetyöt. Tämän takia tietoa sekä kokemusta kerättiin kirjallisuuskatsauksen lisäksi havainnoimalla työkoneita eri työympäristöissä, haastatteleamalla koneohjausjärjestelmän valmistajia ja mahdollisimman monia koneohjauksen parissa työskenteleviä.

2.1 Työmenetelmät

Kirjallisuuskatsaus

Kirjallisuuskatsauksen ideana oli löytää opinnäytetyön tavoitteisiin ja laadintaan asianmukaista ja suoraan liittyvää kirjallisuutta [2, s.259]. Opinnäytetyön pääkirjallisuus-lähteenä oli koneohjaukseen liittyvät julkaistut materiaalit – ne toimivat työn teoriana. Jotta tätä teoriaa ja koneohjauksen kokemuksia sekä tuloksia voitiin ymmärtää ja lopulta hyödyntää, tarvittiin myös muutakin kirjallisuutta. Tämän takia työssä käytettiin erilaista kirjallisuutta ja esimerkiksi tietoa haettiin tietomallintamiseen liittyvästä materiaalista, tuotannon suunnittelusta ja erilaisista ongelma tyypeistä sekä niiden ratkaisuperiaatteista.

Havainnointi

Kirjallisuudesta saatava tieto ei kuitenkaan riitä kertomaan, mistä ongelmat koneohjaukseen liittyen johtuvat tai miten ne voidaan minimoida. Toisaalta, toimiiko teorian eri ratkaisumallit hyvin hankkeen tavoitteisiin ja olosuhteisiin nähden sekä

voidaanko joitakin asioita kehittää. Näiden näkökulmien selvittämiseksi opinnäytetyössä käytettiin havainnointia, jonka avulla pystyttiin saamaan tietoa, mitä koneohjauksen ongelmien ympärillä liittyvää tapahtui. [2, s.212–213.] Opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamiseksi työmailla työympäristö ja siellä tehdyt havainnot ovat työssä vahvasti esillä. Havainnot työmailta näkyvät ongelmien monimuotoisuutena ja riippuvaisuutena työympäristöstä. Lisäksi ne vaikuttavat ilmenneiden ongelmien minimoimiseen tai niiden poistamiseen tehtyihin johtopäätöksiin ja kehittämisehdotuksiin.

Haastattelut

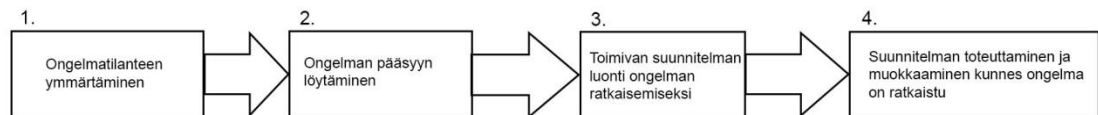
Opinnäytetyön tiedon keräämistä tukivat kirjallisuuskatsauksen sekä havainnoinnin ohella tehdyt henkilöhaastattelut. Haastattelumenetelmänä oli avoin haastattelu, jossa haastattelin työmailla järjestelmää käyttäviä operaattoreita, heidän esimiehiään ja laitevalmistajien edustajia. Haastatteluiden tarkoituksena oli kartoittaa koneohjauksen eri ongelmia, niihin syntyneitä ratkaisukeinoja sekä yleisesti tiedustella ajatuksia, käsityksiä ja mielipiteitä koneohjaukseen liittyen [2, s.209]. Menetelmää käytettiin, koska työssä haluttiin kartoittaa mahdollisimman moni ongelma yksityiskohtaisesti ja perustellen, miksi se on tapahtunut ja millaisia korjaustoimenpiteitä sille löydettiin. Toisin sanoen haastatteluilla haluttiin syventää saatavia tietoja, joita ei edellä mainituilla menetelmillä ollut mahdollista saada [2, s.204–205]. Avoin haastattelu oli luonnollisin valinta, koska se soveltuu hyvin kokemuksellisuutta tavoitteleviin tutkimuksiin.

2.2 Erilaiset ongelmat ja niiden ratkonta yleisesti

Erilaiset ongelmat voidaan jakaa kahteen eri luokkaan, avoimesti määriteltuihin ja hyvin määriteltuihin ongelmiin. Hyvin määritellyjä ongelmia on sellaiset, joilla on tietty tavoite, selkeästi määritelty ratkaisumalli ja odotettu lopputulos, sekä joiden ratkaisut ovat yksiselitteisesti oikeita tai vääriä. Avoimesti määritellyt ongelmat ovat sellaisia, joilla ei ole selkeitä tavoitteita, määriteltyjä ratkaisupolkuja tai odotettua ratkaisua, ja joihin ei ole löydettävissä yhtä oikeaa ratkaisua. [20.]

Ongelman ratkontaa voidaan tehdä yksinkertaisella ongelmanratkontatyökalulla, joka on jaettu neljäksi kohdaksi (kuva 1). Ensimmäisenä täytyy ymmärtää nykyinen tilanne

ja että sitä täytyy parantaa. Toisena on löytää pääsyy ongelmaan, koska vain korjaamalla ongelmasta syntyneet seuraukset, ei itse ongelmalle ole tapahtunut mitään. Kolmantena on kehittää toimiva suunnitelma ongelman korjaamiseksi. Neljäntenä on toimia suunnitelman mukaisesti ja tarvittaessa muokata suunnitelmaa sellaiseksi, että ongelma saadaan poistettua. [21.]



Kuva 1. Neljän kohdan ongelmanratkaisutyökalu.

Ongelman pääsyy löytämiseksi voidaan käyttää vielä neljään kohtaan jakautuvaa ongelman pääsyytä etsivää prosessia:

1. Kirjaa ylös kaikki mahdolliset syyt ongelmaan.
2. Kehitä todennäköisin syy ongelmalle.
3. Määritä keinot, joilla ongelman todennäköisin syy voidaan testata.
4. Analysoi ja tunnista ongelman pääsyy.

Suunnitelman luontiin ongelman poistamiseksi voidaan käyttää kolmeen kohtaan jakautuvaa prosessia.

1. Kehitä monenlaisia ratkaisuja ongelmaan.
2. Aseta tehtävät toimet tärkeysjärjestykseen.
3. Suunnittele täytäntöönpano.

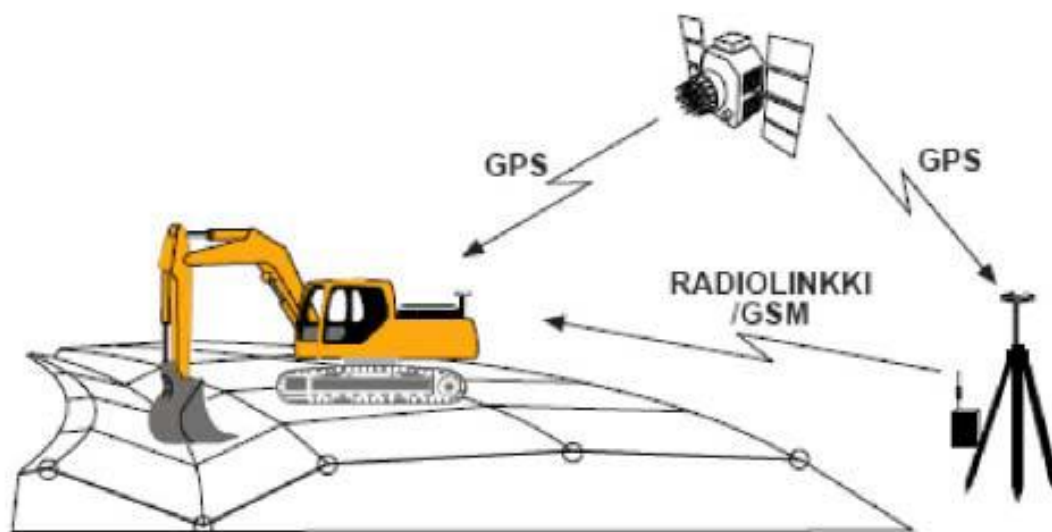
Koneohjaukseen liittyvät ongelmat ovat pääsääntöisesti hyvin määriteltyjä, koska niihin on löydettävissä yksiselitteinen ratkaisu, mutta osa ongelmista kuuluu avoimesti määriteltyihin ongelmiin, joihin ei ole yhtä oikeaa ratkaisua vaan löydettävissä useita ratkaisumahdollisuuksia tai ei ratkaisua ollenkaan. [21.]

3 Koneohjaus

Automaatiotekniikan kehityskaari on noin 45 vuotta, kun ensimmäiset teollisuudessa käyttöön otetut robotit tulivat 1960-luvulla. Rakennustyömaille robotit tai automaatiotekniikkaa sisältävät koneet ovat tulleet hitaasti verrattuna muihin teollisuuden aloihin. Suurin osa rakennuskoneisiin automaatiotekniikkaa sisältävistä järjestelmistä on suunnattu maanrakennuskoneisiin, koska maanrakennus on pitkälti koneellistettua ja selkeitä toistuvia työvaiheita on paljon. [33.] Paikannustekniikoiden kehittyessä on niitä alettu liittää myös maanrakennuskoneiden järjestelmiin. Tässä luvussa käydään läpi koneohjausjärjestelmä, joka on maanrakennuskoneisiin liitettävä paikannusta hyväksi käyttävä kuljettajaa opastava järjestelmä.

3.1 Koneohjausjärjestelmän esittely

Koneohjausjärjestelmällä tarkoitetaan järjestelmää, jossa työkoneeseen on asennettu laitteet sen tietomallipohjaista opastamista tai sen osittaista ohjaamista varten. Koneohjaus perustuu satelliittipaikannukseen. Työkoneessa olevat satelliittivastaanotinantennit vastaanottavat satelliiteilta signaalia, jonka avulla työkone paikannetaan kohdealueelta (kuva 2). Koneohjauksesta saatava suurin hyöty perustuu siihen, että halutunlaisia työsuunnitelmia voidaan seurata reaaliaikaisesti työkoneen näyttöpäätteeltä käsin, suunnitelmia voidaan päivittää ja muokata työn edetessä ja kaikki tieto tehdystä työstä voidaan tallentaa koneohjauksen järjestelmään. Koneohjauksen käyttäminen työmaalla edellyttää, että työsuunnitelmat on tehty järjestelmälle yhteensopivassa formaatissa. Yksinkertaisimmillaan koneohjauslaitteisto koostuu työkoneessa olevasta näyttöpäätteestä, tietokoneyksiköstä, antureista, virtalähteestä ja satelliittivastaanotinanteista sekä useimmiten vielä radiomodeemista ja korjaussignaalia lähettävästä tukiasemasta. Laitetoimittajasta riippuen saattaa laitteistoissa esiintyä jonkinasteisia eroja, mutta perus periaate on kaikissa sama.



Kuva 2. Koneohjauksen toiminnan periaate. [31.]

Hyvin yleisesti rakennushankkeiden toteutuksessa joudutaan yleisesti käsittelemään eri määriä maa-ainesta eri tavoin, jotta saavutetaan riittävät olosuhteet maanpäällisille, että maanalaisille rakenteille. Tietomallipohjaiseen suunnitteluun lukeutuvan koneohjauksen avulla saavutetaan perinteistä, vanhaa rakennusprosessia tehokkaampi työtapo ja laadullisesti parempi tulos. Koneohjauksen avulla on mahdollista saada mittavat säästöt ajallisesti sekä kustannusten osalta tehokkaammalla massataloudella. Tässä työssä keskitytään pääosin kaivinkoneisiin asennettuihin järjestelmiin, mutta voidaan hyödyntää tietoa myös stabilointi- ja tiehöylissä käytössä olevista järjestelmistä.

Ensimmäiset sovellukset koneohjausjärjestelmästä ylettyvät jo vuosikymmenen taakse, mutta järjestelmän jyrkkä kehittyminen sekä sen päivittäinen käyttö on alkanut vasta viimeisien vuosien aikana. Järjestelmän valmistajia onkin jo ilmestynyt muutamia ja niiden välinen kilpailu kovenee koko ajan, luoden mahdollisesti parempia investointimahdollisuuksia koneohjausjärjestelmää tarvitseville. Koneohjauksen kehitystyö onkin jatkuvaa yritysten hakiessa etulyöntiasemaa markkinoilla ja siinä käytetään apuna kansainvälisiä standardeja ja suunnittelutyötä. 2000-luvulla käynnistettiin erinäisiä julkisesti rahoitettuja tutkimus- ja kehityshankkeita infra-alan kilpailukyvyyn kehittämiseksi sekä yksityisiä koneohjausjärjestelmää vertailevia tutkimuksia. Näiden tutkimusten myötä koneohjausjärjestelmät ovat alkaneet nosta vahvasti itseään esiin ja niiden käyttö on alkanut yleistyä. Koneohjausjärjestelmällä varustetuilla koneilla tehdyissä pilottihankkeissa saaduista tuloksista huomattiin

koneohjauksen käytön hyötyjen olevan merkittävät verrattuna perinteiseen, vanhaan rakennustapaan.

3.1.1 Koneohjauksen pilottihankkeet

Koneohjausjärjestelmien käyttöä on tutkittu kansainvälisesti sekä kotimaisesti. Suomessa ensimmäisiä selvityksiä koneohjausjärjestelmän käytöstä on vuonna 2004 valmistunut VTT:n Älykäs Tietyömaa, joka käsittelee tienrakennuskoneiden automatisointiin liittyviä menetelmiä ja teknisiä ratkaisuja. [3.] Tutkimus liittyi osana Tekesin Infra-teknologiaohjelmaa, jossa tähdättiin infra-alan liiketoimintojen kehityksen ja muutoksen tukemiseen. [4.] Viimeisimpiin laajempiin kotimaisiin tietomallia käsitteleviin tutkimushankkeisiin lukeutuu vuonna 2011 valmistunut Infra TM -hanke sekä 2014 vuoden keväällä valmistunut Infra FINBIM -hanke. Infra TM -hankkeen vastuulla oli mallinnusohjeiden valmistelu ja infra-alan nimikkeistön laajentaminen tietomallintamista tukevaksi. Infra FINBIM -hankkeessa panostettiin vahvasti tietomallintamisen kehittämiseen koko hankkeen elinkaaren ajalta (kuva 3) ja hyödyntämiseen infra-alalla ja se oli ainoa hanke maailmassa, jossa oli annettu suunta mihin ja millä tavalla tietomallipohjaista kehitystä halutaan viedä. [5.] Infra FINBIM:in aikana tehdyissä pilottihankkeissa havaittiin myös muissa pilottihankkeissa havaittu koneohjausjärjestelmän tehokkuus ja näin ollen kehitystä onkin jatkettu taukoamatta. Infra FINBIM:in sisällä suoritettuihin pilottikohteisiin kuului koneohjausjärjestelmän testausta infrarakentamisen jokaisella osa-alueella:

1. tiet
2. kadut
3. vesiväylät
4. sillat
5. ratarakenteet.

Pilottikohteet sijaitsivat kovalla, että pehmeällä maapohjalla, jolloin suunnittelussa ja rakentamisessa tuli huomioida eri rakentamisessa tulevia haasteita.

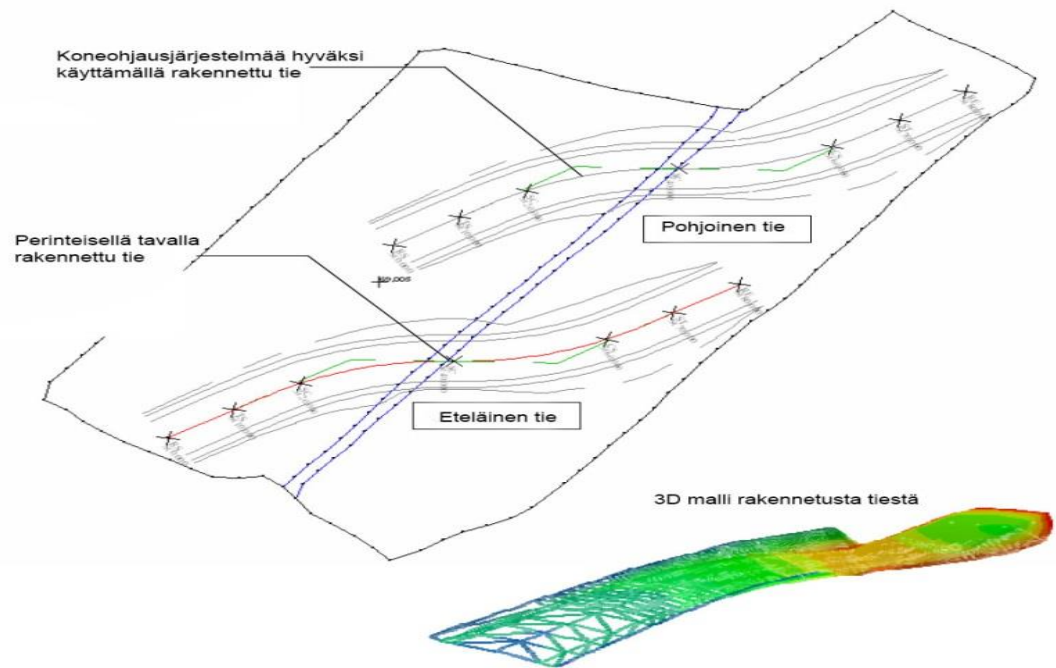


Kuva 3. Tuotemallipohjaisessa suunnittelussa otetaan huomioon koko elinkaari. [10.]

Kansainväliset tutkimukset, tutkimus 1

Kotimaisten tutkimuksien lisäksi myös tutkimukset maailmalta ovat hyvin positiivisia koneohjausjärjestelmän osalta ja kannattavat koneohjauksen käyttöä. Maanrakennuskoneisiin erikoistunut Caterpillar toteutti vuonna 2006 Malagan koulutuskeskuksessaan kaksi identtistä tien rakennushanketta vierekkäin (kuva 4). Toinen tienpätkä rakennettiin hyödyntämällä koneohjausjärjestelmää ja toinen tienpätkä rakennettiin perinteisellä työtavalla. Tiet olivat pituudeltaan 80 metriä pitkiä ja sisälsivät kaikkia yleisimpiä tiegeometrioita eli suoria, kaaria ja siirtymäkaaria sekä pituus- ja sivukaltevuuksia. Massojen käsittelyn osalta tiet olivat myös identtiset toisiinsa nähden. Molemmissa oli leikattavaa maa-ainesta 357 m³ ja täytettävää 347 m³. Erona työkoneissa oli ainoastaan koneohjausjärjestelmä toista tietä tehdessä. Tutkimuksessa vertailtiin rakentamiseen käytettyä aikaa, kuormattujen kuormien ja ajokertojen lukumäärää, polttoainekuluja sekä rakennekerrosten tarkkuutta. [6.] Taulukoissa 1 ja 2 on koottuna käytetyistä työajoista sekä polttoaineiden säästöistä ja niistä on havaittavissa, että koneohjauksella on päästy merkittävästi parempiin tuloksiin verrattuna perinteiseen työtapaan. Taulukoissa olevat työkoneet ovat:

- puskutraktori (Caterpillar D6N)
- kaivinkone (Caterpillar 330D)
- tiehöylä (Caterpillar 140H)



Kuva 4. Malagassa toteutettu rakennustapoja vertaileva tutkimus. [6.]

Erityistä huomiota kannattaa tutkimuksessa työtehojen kasvun ohessa kiinnittää koneohjauksella saavutettuun parempaan laatuun. Molempien teiden rakennekerroksista otetut tarkemittaukset osoittavat, että koneohjauksella toteutettu tie on huomattavasti lähempänä suunniteltua tietä kuin perinteisellä tavalla toteutettu. Alusrakenteen tarkkuusvaatimuksen (± 30 mm) täytti perinteisellä toteutuksella vain 35 % mittaustuloksista, kun koneohjauksen avulla päästiin 86 %. Kantavan kerroksen osalta tarkkuusvaatimukset (± 20 mm) täytti perinteisellä rakennustavalla hieman alle puolet - 45 %, kun koneohjauksella päästiin erittäin hyvään tulokseen - 98 %.

Taulukko 1. Malagan koekohteessa käytetyt työajat.[6.]

Käytetty työaika	Työkone	Perinteinen	Koneohjaus	Säästö
Mittaustyö		7:31 h	0:54 h	Säästetty työaika 6:37
Pintamaiden siirto	D6N 330D	4:40 h 2:23 h	4:18 h 1:53 h	+ 9 % + 27 %
Jakavan kerroksen teko	D6N 330D	3:48 h 2:56 h	1:28 h 2:43 h	+ 159 % + 8 %

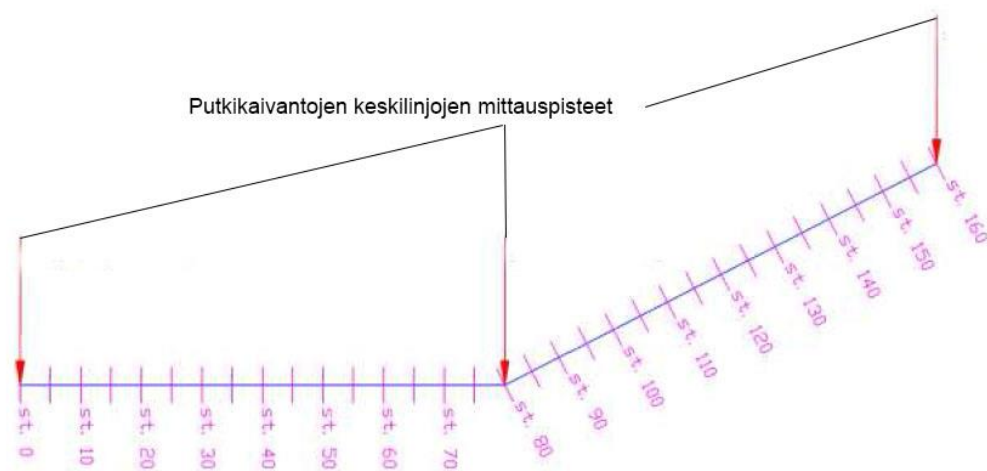
Kantavan kerroksen teko	D6N	2:24 h	0:53 h	+ 172 %
Kantavan kerroksen höyläys	140H	1:49 h	0:32 h	+ 241 %
Yhteensä		24 h 32 min	11 h 50 min	+ 101 %

Taulukko 2. Malagan pilottikohteessa saadut polttoainesäästöt. [6.]

Työkone	Perinteinen	Koneohjaus	Saavutettu säästö
D6N	210 L	136 L	35 %
330D	231 L	123 L	47 %
140H	22 L	7 L	68 %

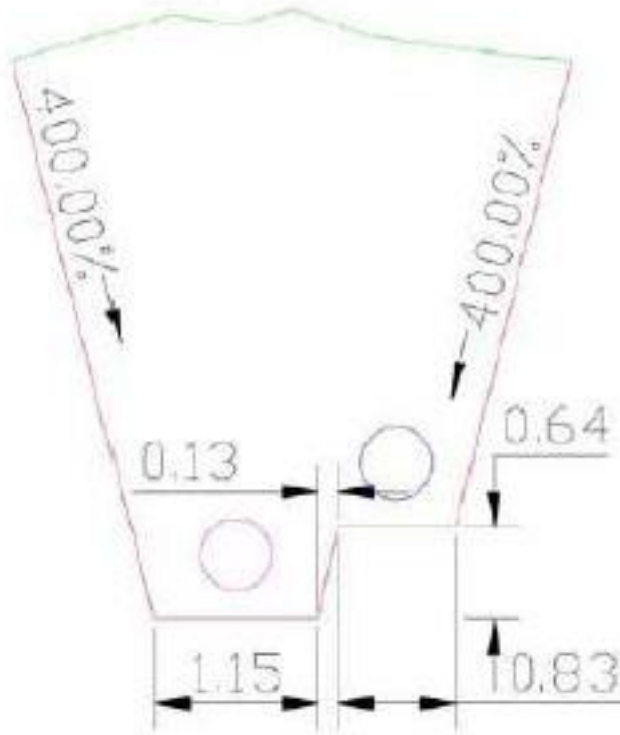
Kansainväliset tutkimukset, tutkimus 2

Reykjavikin yliopiston suorittamassa tutkimuksessa vuonna 2008 tutkittiin kaivettujen ja täytettyjen massojen tilavuuksien eroja sekä käytettyä aikaa, niin työkonien kuin työntekijöiden panoksen osalta. Tutkimuksessa toteutettiin kaksi identtistä 160 metrin pitkää putkilinjaa (kuva 5), joissa putkien vesijuoksut olivat eri tasoilla ja kaivettavien maamassojen määräksi oli arvioitu 1250 m³ [7.]



Kuva 5. Putkikaivannon profiili sekä sen keskilinjan mittauspisteet. [7.]

Kuvassa 6 on havainnollistettu kaivannon periaatepoikkileikkauksessa putkien sijoittuminen kaivannossa. Alempana kuvassa on esitetty viemäriputki ja ylempänä salaojaputki. Koneohjauksen avulla tutkimuksessa pystyttiin välttämään turha kaivaminen, joka johtui ylemmän salaojaputken arinan turhasta kaivusta ja täytöstä. Vähemmän kaivamista tarkoittaa myös samalla vähemmän poiskuljetettavia massoja sekä pienempää polttoaineen kulutusta. Yhtenä koneohjauksen suurimpana hyötynä voidaankin pitää tehokasta massataloutta. [7.]



Kuva 6. Reykjavikin yliopiston tutkimuksen putkikaivannon periaatepoikkileikkaus. [7.]

Taulukko 3. Yliopiston tutkimuksissa saadut säästöt koneohjauksella. [7.]

Caterpillar 330D	Perinteinen tapa	Koneohjattu tapa	Säästö
Käytetty työaika	8:32 h	6:35 h	22,93 %
Käytetty polttoaine	347 L	270 L	22,19 %
Käytetty mittaustyö	1:25 h	0:02 h	97,65 %
Kuljetetut massat	1654 m ³	1428 m ³	13,65 %
Putkiarinan massat	152 m ³	62 m ³	59,41 %

Taulukosta 3 nähdään, kuinka yliopiston tutkimuksen perusteella koneohjauksella päästiin suurin säästöihin. Kaivinkoneen työajassa säästettiin noin 23 %,

polttoaineessa noin 22 %, mittaustyössä huimat 97 %, pois kuljetetuissa massoissa 14 % ja putkiarinan materiaalissa 60 % [7.].

3.1.2 Saavutetut hyödyt työmaalla

Koneohjauksen avulla saavutetaan hyötyjä käytännössä jokaisella rakentamisprosessin osa-alueella. Koneohjauksen kertoessa kuljettajalle reaaliaikaisesti työkoneen sijainnin työmaalla, jää turhia massasiirtoja sekä maanleikkaustöitä merkittävästi pois ja näin saadaan aikaiseksi huomattavasti tehokkaampi massatalous. Kun turhia liikkeitä saadaan karsittua pois, saavutetaan luonnollisesti kustannussäästöjä polttoaineiden, materiaalien sekä työtuntien osalta. Tehdyistä massanvaihtoista saadaan määrät myös entistä tarkemmin ylös toteutusvaiheessa.

On hyvin tyypillistä, että työmaalla ei ole omaa mittamiestä ja tämä korostuu varsinkin jos työmaa on pienempi. Mittamiehellä on usein kaksi tai useampi työmaa, joilla hän tekee tarpeen mukaan töitä. Suuremmilla työmailla voi olla hyvinkin useampia kuin vain yksi mittamies, mutta myös työkohteita laajemmilla työmailla on useita. Hyvin usein tästä voi seurata ongelmia, kun mittamiestä tarvittaisiin useassa kohteessa samanaikaisesti. Silloin työkoneet voivat vain odottaa. Koneohjauksen ansiosta mittamiehen tarve vähenee. Työnteko on myös kaikin puolin sujuvampaa, kun työkoneenkuljettajalle ei tule turhaa tyhjäkäyntiä, jonka mittamiehen odottaminen voi luoda. Näin ollen koneohjauksen avulla työt voivat jatkua sulavammin ilman keskeytyksiä. Merkittävänä hyötynä voidaan pitää myös koneohjauksella saavutettava työajan laajeneminen sekä siitä saatava tehokkuuden nousu. Aamun tai illan pimeys eivät enää hidasta tai jopa estä työntekoa, sillä töiden etenemistä voi seurata työkoneen näyttöpäätteeltä. Koneohjausta voidaan käyttää hyödyksi parantamaan työturvallisuutta. Suunnitelmiin voidaan esimerkiksi merkitä vaarallisia työkohteita, joita pimeässä ei muuten erottaisi.

Koska mallit kertovat koneohjausta käyttävälle kuljettajalle tarvittavat tiedot toteuttaakseen suunnitelman vaativia työvaiheita, kuten esimerkiksi syvyyden ja suunnan, karsivat ne perämiehen, mittamiehen ja työnjohdon tarvetta kaivinkonetta ohjaavana henkilönä (kuva 7). Osista työvaiheista, kuten kaivannoiden kaivutöiden tekemisestä perämiehen tarve poistuu kokonaan tai pohjatöiden osalta koneohjauksen eduksi voidaan yhden perämiehen kanssa laskea kuin kaivannossa olisi kaksi

perämiestä. Tämän johdosta suunnitelmien ja työvaiheiden seuranta siirtyy perämieheltä enemmässä määrin koneenkuljettajalle itselleen. Mikäli seuraavan työvaiheen malli on valmiina tai mahdollisesti yhdessä mallissa näkyy kaikki tarvittavat työvaiheet, voidaan kiireellisessä työtilanteessa vapauttaa työvoimaa muihin tehtäviin eikä työnjohtoa tarvita selvittämään jokaista työvaihetta erikseen. Näillä tekijöillä on mittavat mahdollisuudet kustannus- ja aikataulusäästöinä.

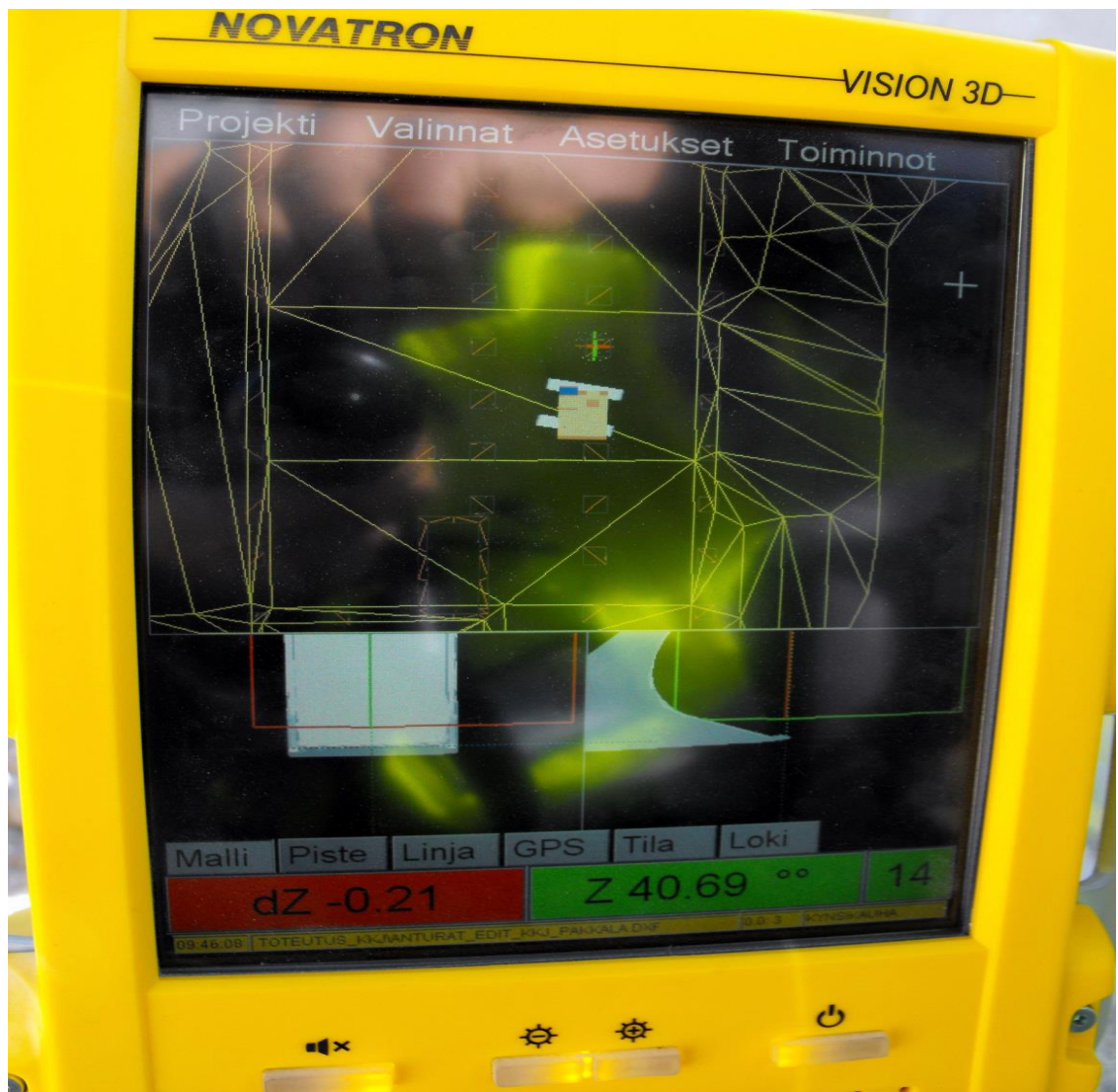


Kuva 7. Kantavan kerroksen tekemistä koneohjatulla tiehöylällä, ilman mittamerkkejä.

3.2 Kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä

Tässä luvussa käydään läpi yksityiskohtaisesti kaivinkoneen koneohjausjärjestelmä, mitä sen laitteisto pitää sisällään, sen tuomia kustannuksia, sekä työtapojen muutoksia. Kuten edellisessä luvussa käytiin läpi, koneohjausjärjestelmän hyödyt verrattuna perinteiseen kaivutyöhön ovat kiistattomat, mutta järjestelmän tuonti tuo mukanaan myös haasteita. Suurimpana haasteena tuntuu olevan uuden järjestelmän vierastaminen tai sen tietoisuuden lisääminen. Valtaosa kommenteista järjestelmän parissa työskenteleviltä koneenkuljettajilta ovat olleet positiivisia, mutta joukkoon mahtuu myös eriäviä mielipiteitä, jotka antavat uskoa järjestelmän käytön vain vaikeuttavan työntekoa. Tässä on varmasti kyse hyvin pitkälti asennoitumisesta järjestelmää vastaan, mutta myös sen sisällä pitämästään tekniikasta ja uuden opettelusta. Koneenkuljettajalla saattaa olla usean vuosikymmenen kokemus perinteisestä kaivutyöstä, joten on ymmärrettävää, että täysin ongelmitta ei modernia tekniikkaa sisältävää järjestelmää ja uusia työtapoja oteta vastaan. Uuden tekniikan

sisäänajo harvoin tapahtuu täysin ongelmitta ja niin on myös koneohjauksen tapauksessa.



Kuva 8. Kaivinkoneen kauhan korkeusasemat näyttöpäätteeltä. [8.]

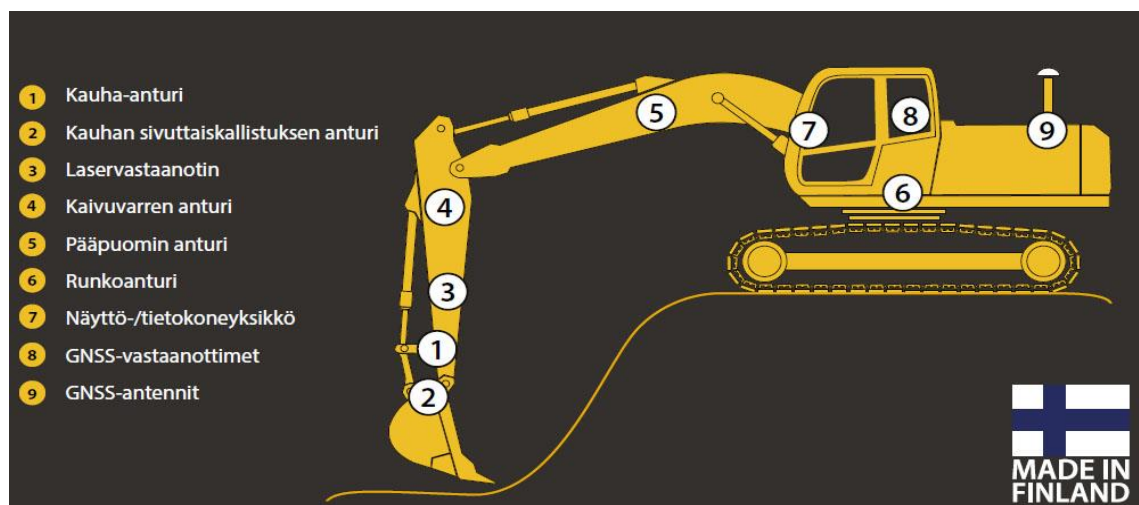
3.2.1 Toimintaperiaate

Kuten aikaisemmissa kappaleissa hiukan jo sivuttiin, koneohjausjärjestelmän keskeinen toimintaperiaate on työkonen paikantaminen suunnittelu- tai kohdealueella, sekä havainnollistaa työkonenkuljettajalle näyttöpäätteeltä kaivinkoneen kauhan sijainti suhteessa suunnitelmaan (kuva 8). Kaivinkoneilla on pääsääntöisesti käytössä enemmän kuin yksi kauha ja jotta kaikkia voidaan käyttää koneohjausjärjestelmän kanssa, tulee ne asentaa tarkkoine mittoineen järjestelmään, jolla vältetään mittausvirheiltä korkeusaseman suhteen. Kuvassa 8 näkyy kuljettajalle näkyvän

koneohjausnäyttöpäätteen vasemmassa alareunassa dZ sekä lukema, jolla kuvataan kauhan korkeusasemaa suhteessa suunnitelmaan. Lukeman taustaväriin ollessa punainen on kauhan mittapiste halutun kaivutason alapuolella. Väriin ollessa vihreä, kertoo se korkeussijainnin olevan asetetuissa toleransseissa ja edelleen sininen väri tarkoittaa kauhan olevan halutun tason yläpuolella. Näin ollen kuvasta 8 käy ilmi, että kaivinkoneen kauha on 0,21 m mallinnetun anturan alapinnan alapuolella.

3.2.2 Laitteisto

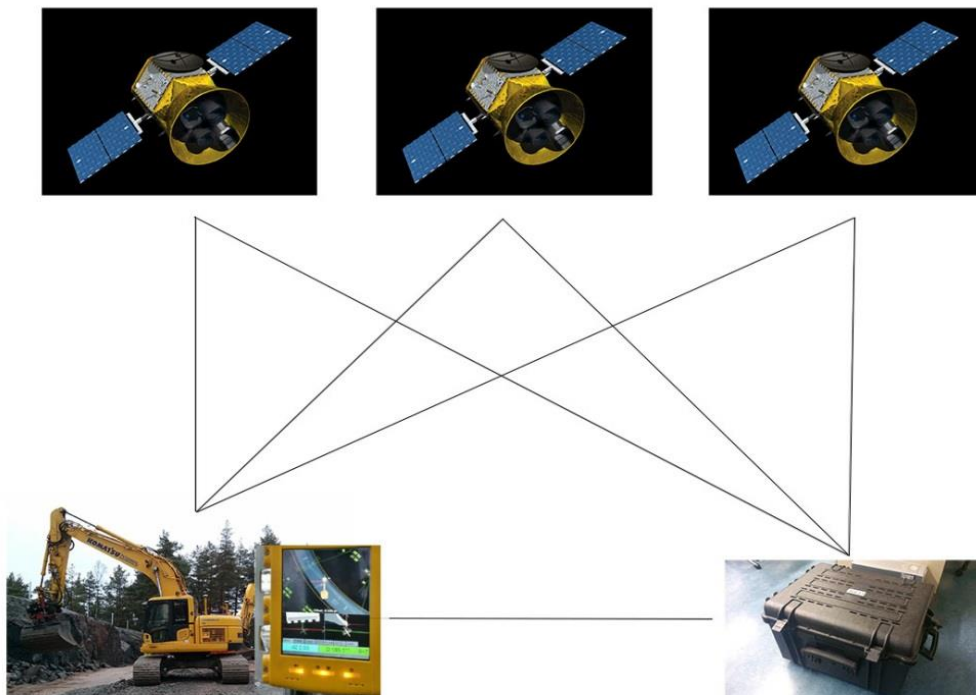
Koneohjausjärjestelmä vaatii toiminnan kannalta kaivinkoneen geometrian ja satelliittien geometrian määrittäksen. Tässä yhteydessä geometrialla tarkoitetaan mittojen määrittämistä suhteessa työmaan ympäristöön. Lisäksi tarvitaan laitteisto yhdistämään toteutusaineisto tai suunnitelma-aineisto suhteessa paikannukseen. Koneohjausjärjestelmä koostuu antureista (kuva 9.), tietokoneyksiköstä, näyttöpäätelaitteesta (kuva 8.), satelliittivastaanotinantenneista, virtalähteestä ja usein radiomodeemista ja jossakin tapauksissa laservastaanottimella. Esimerkkinä kuvassa 8 näkyy, kuinka anturit sijoitetaan kaikkiin kaivupuomin nivelosiin ja kaivinkoneen runkoon. Järjestelmän toimittajasta riippuen järjestelmissä voi olla eroja laitemoduulitasolla, muutoin koneohjausjärjestelmät ovat rakenteellisilta ratkaisuiltaan hyvin samankaltaisia toisiinsa nähden.. Laitemoduulilla tarkoitetaan esimerkiksi näyttöpäätelaitetta, jossa yhteen laitemoduuliin voidaan sisällyttää useampi toiminto, kuten tietokoneyksikkö, että näyttöpäätte.



Kuva 9. Kaivinkone ja koneohjausjärjestelmän antureiden paikat. [9.]

Tukiaseman toimintaperiaate

Koneohjausjärjestelmän käyttö edellyttää usein työkoneessa olevan laitteiston lisäksi rinnalleen toimivan tukiaseman. Tukiasemalaitteisto koostuu antennivastaanottimesta, virtalähteestä ja gsm- tai radiomodeemista. Tukiaseman toiminta perustuu RTK (*Real Time Kinematic*) -paikannukseen (kuva 10), jossa tukiasema lähettää korjaussignaalia työkoneeseen samoista satelliiteista, jotka työkone havaitsee. Työkone pystyy omalla koneohjauslaitteistolla paikantamaan itsensä kohdealueelta, mutta tarvitsee paremman tarkkuuden saamiseksi tukiaseman lähettämää korjaussignaalia. Korjaussignaali voidaan lähettää joko internet-, matkapuhelinverkko- tai radiosignaalina, riippuen työkoneiden laitteistosta sekä työmaan ympäristöolosuhteista. Vaihtoehtona on myös VRS (*Virtual Reference Station*) -tukiasemapalvelu, jolloin omaa tukiasemalaitteistoa ei tarvita ja kaikki tukiasemantoiminta tapahtuu Internetin välityksellä. VRS-ratkaisua voidaan käyttää myös, jos omia tukiasemia ei ole vapaana tai korvaamaan oman tukiaseman rikkoutuminen. Tulee kuitenkin huomata, että VRS-tukiasemapalvelun käyttö on ulkoistettua toimintaa ja siitä koituu lisenssipalvelumaksut palvelutoimittajan mukaan.



Kuva 10. Koneohjausjärjestelmä saa tarkkuutta parantavaa signaalia tukiasemalta.

Koneohjausjärjestelmän hankinta- ja käyttökulut

Koneohjausjärjestelmän kokonaiskulut rakentuvat laitteiston hankintakuluista ja ylläpidon aikaisista huolto- ja lisenssisopimuksista. Mikäli työmaalle hankitaan oma tukiasema korjaussignaalin tuottamiseen, täytyy sen hankkimiskulut sekä käytöstä, että ylläpidosta tulevat kulut ottaa huomioon. Tukiaseman pystyttämiseen kuluva aika tulee myös huomioida ylläpitokuluissa sekä töiden aikataulussa. Jos joudutaan turvautumaan VRS-tukiasemapalvelun käyttöön (kuva 11), edellyttää se lisenssisopimusta ja siitä tulevat kulut tulee huomioida. Tukiasemapalvelu hinnoitellaan palvelutarjoajasta riippuen kuukausittaisilla maksuilla tai vuosilisenssillä, jolloin lisenssin hintaan sisältyy usein tietty määrä työkoneita. Lähtökohtaisesti, kuten muissakin palveluissa pidempiaikaiset sopimukset tulevat halvemmaksi, kun tarkastellaan hintaa käyttöpäivältä. Tulee myös huomioida, että laitetoimittajasta riippuen voidaan yrityksen tarjoamat palvelut koneohjausmallien tiedonsiirtoihin sisällyttää ylläpitosopimuksiin tai voivat ne voivat olla hinnoiteltu erikseen. Luvussa esitetyt laitteistohinnat perustuvat Novatronin Oy:n tarjoamiin listahintoihin huhtikuussa 2014. Muita koneohjausjärjestelmä valmistajia Suomessa on mm. Scanlaser, Geotrim Oy ja Topgeo Oy. [11.]

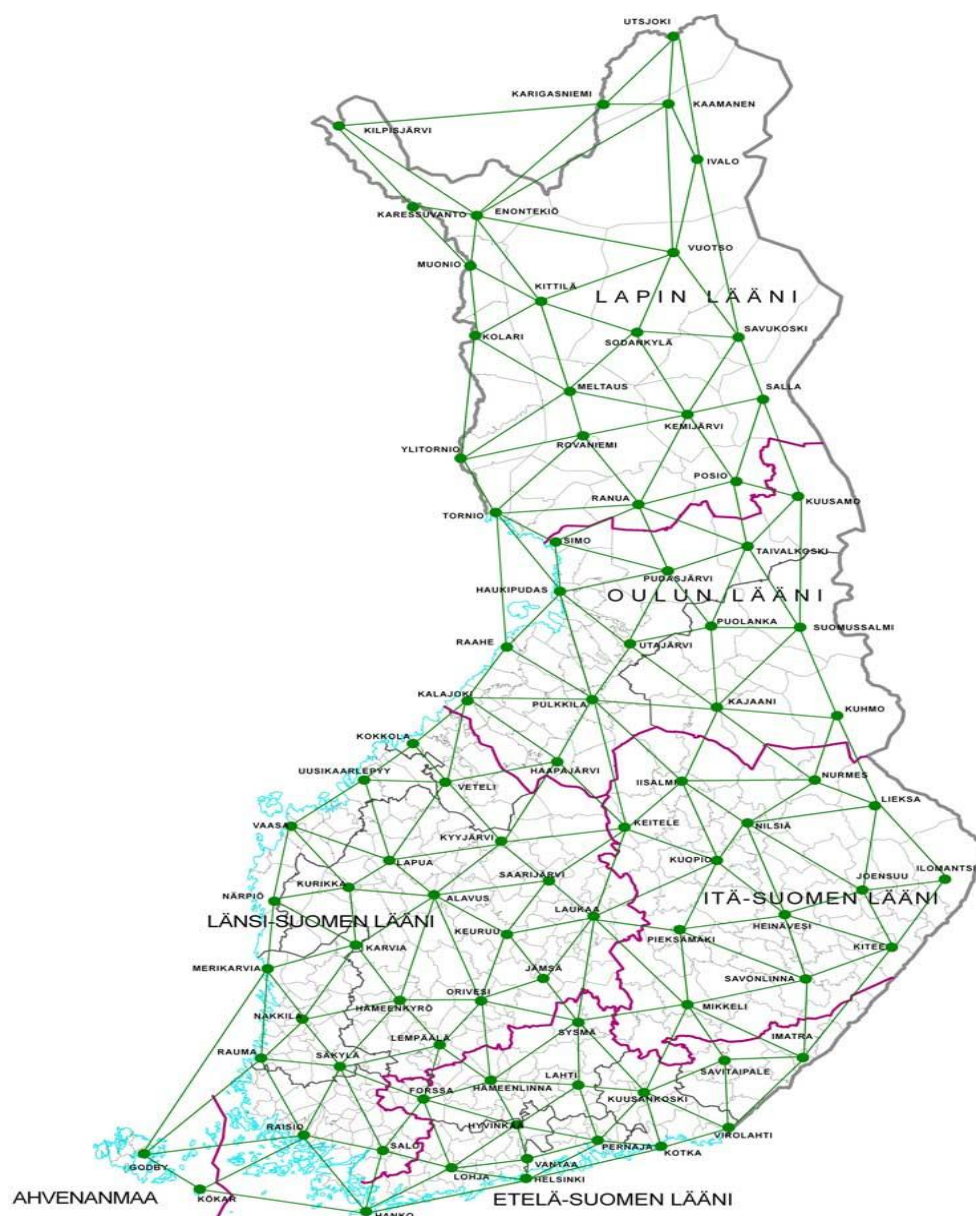
Koneohjausjärjestelmän kokonaiskulut riippuvat täysin siitä, minkälainen laitteisto työkoneeseen hankitaan:

- Paremman kahden antennin koneohjausjärjestelmät ovat tällä hetkellä kokonaisuudessaan noin 30 000 euron hintaisia.
- Heikomman yhden antennin järjestelmän hinnat ovat kokonaisuudessaan noin 23 000 euroa.
- Järjestelmän asennuskulut ovat noin tuhannen euron luokkaa valmistaja riippuen.
- Radioantennin kulut asennuksineen ovat noin 1500 euron tuntumassa.
- Tukiaseman hankintakulut ovat alkaen noin 13 000 euroa.
- VRS-tukiasemapalvelua käytettäessä tiedonsiirto tapahtuu koneohjauslaitteessa olevan GPRS-modeemin kautta Internetin välityksellä, jolloin asiakkaan tehtäväksi jää ainoastaan matkapuhelin operaattorilta saatavan SIM-kortin hankinta dataliittymällä, joista halvimmat ovat noin 50 euroa vuodessa.

- Ulkoistetun VRS-tukiasemapalvelun hinnat ovat noin 600 euroa/vuosi/työkone, tai mikäli työkoneita on enemmän kuin 5 kappaletta niin kustannukset ovat 400 euroa/vuosi/työkone tuntumassa.
- Näiden kulujen lisäksi tulevat koneohjausjärjestelmän huolto- ja ylläpitosopimuksen kulut, ohjelmistopäivityksistä aiheutuvat kulut, kuitenkin niin, että laitteiden takuuajana ne kuuluvat hintaan. Takuuajan jälkeen laitevalmistajat tarjoavat erilaisia maksullisia huoltosopimuksia. [8.]

Oman tukiasemalaitteiston hankintakuluja tulisi vertailla VRS-tukiasemapalveluun, jos omaa tukiasemalaitteistoa ei ole jo valmiiksi hankittuna. Riippuen työkohteen tai urakan luonteesta VRS-tukiasemapalvelua käyttäessä lisenssikulut voidaan sopia palvelutarjoajan kanssa joko työkonekohtaisiksi tai projektikohtaisiksi, jolloin ratkaisu sopii yleensä pienille työmaille ja joille oman tukiaseman hankinta ei kannata. Suurin etu omasta tukiasemasta saadaan työmaalla, jossa on monia koneohjattuja työkoneita. Silloin tukiasemalla pystytään palvelemaan kaikkia sitä lähellä toimivia työkoneita ja tukiaseman kulut voidaan jakaa työkoneiden kesken. Muuta huomioitavaa tukiasemaa hankkiessa on työmaa-alueen laajuus. Välimatkan kasvaessa tukiaseman ja työkoneen välillä alkaa signaalin vahvuus heiketä, josta seuraa tarkkuuden heikentymistä sekä signaalikatkoksia. Tukiaseman lähettämä radiosignaalin laatu ja vahvuus pysyvät optimaalisena tukiaseman ja työkoneen välillä on noin 30 kilometrin säteellä tukiasemasta, kun taas matkapuhelinverkon avulla tuotettavalla korjaussignaalilla etäisyyden kasvaessa yli 10 kilometriä sen laatu alkaa heiketä radikaalisti. Maasto- ja ilmasto-olosuhteet vaikuttavat signaalin laatuun erittäin paljon. Mikäli työmaa-alueen laajuus on suuri, jossa etäisyydet tukiaseman ja työkoneen välillä kasvavat suuriksi ja alueella on paljon korkeuseroja tai muita esteitä voi tukiasemia joutua hankkimaan useampia. [8.]

Koneohjausjärjestelmän hankintakulujen voidaan todeta muodostuvan yrityksen omien tarpeiden mukaan. Resurssillisesti suurilla työmailla yleensä oman tukiaseman hankinta on kannattavaa, VRS-tukiaseman lisenssikulujen noustessa suuriksi. Kuitenkin on huomioitava vaatimukset työkoneisiin asennettujen laitteistojen mukaan, sekä olosuhteet ja sijainti tukiaseman korjaussignaalin takaamiseksi. Huolellisella ennakkosuunnittelulla voidaan tässäkin rakennusvaiheessa vähentää turhia kustannuksia.



Kuva 11. Mitta Oy:n kattava VRS-tukiasemaverkosto. [31.]

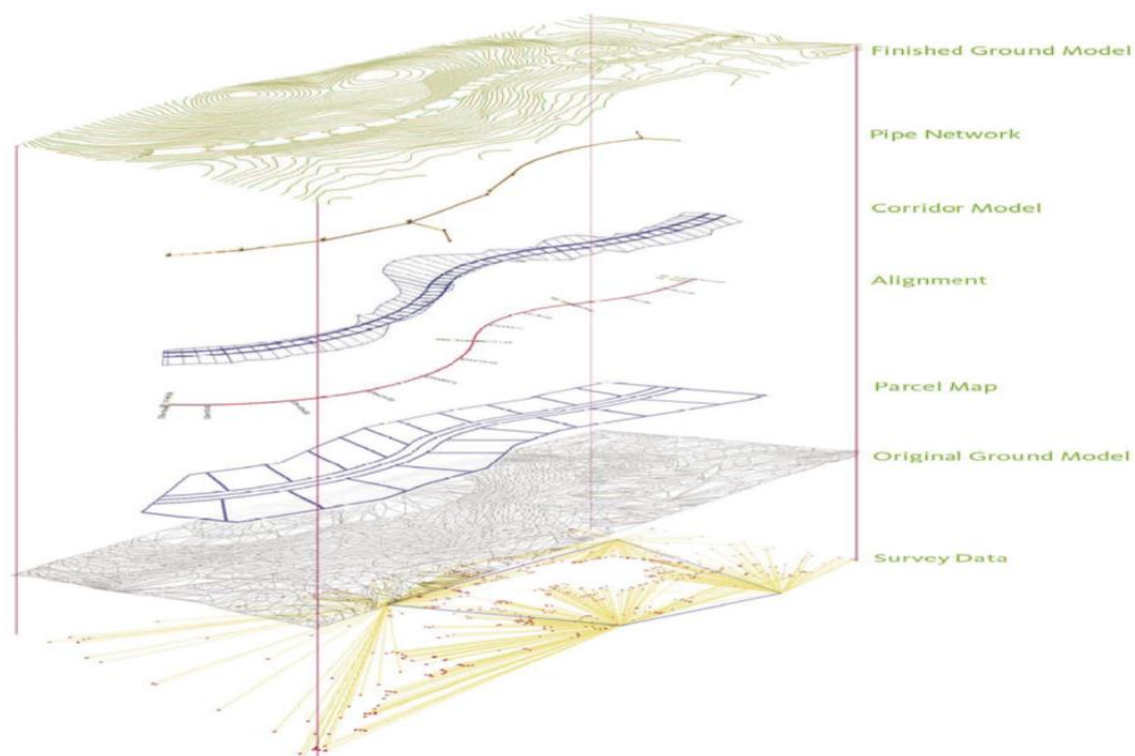
3.2.3 Tiedonsiirto

Tiedonkulun onnistuminen on merkittävässä roolissa kaikilla työaloilla eikä rakennusala ole poikkeus. Jokaisessa rakennusprojektissa tiedonsiirto on merkittävässä roolissa. Tiedon tulisi liikkua sulavasti projektin eri tahojen välillä, mutta koska eri työn lajeja ja niiden osa-alueita on usein jopa kymmeniä, jolloin tiedon kulussa ilmenee useasti suuria haasteita. Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liiton, SKOL:in vuonna 2002 tekemän tutkimuksen mukaan suurimpia tiedonsiirtoon liittyviä ongelmia:

- Vaikeuttaa hankkeiden avointa kilpailuttamista.
- Tuottaa suunnittelutyölle merkittäviä kustannuksia, koska tiedonsiirrot ovat työläitä ja kaikki tiedot ei siirry formaatista toiseen, vaan tietoa häviää.
- Asettaa vaatimuksia suunnittelutiedon sähköiselle siirtämiselle työmaalle, rakennustoiminnan kehittämiseksi ja suunnittelulle rakennustyön aikana.

Suunnittelijoita ja suunnitelmia on usealta eri osa-alueelta ja näin ollen infra-alalla onkin käynnistetty viimevuosien aikana useita eri hankkeita tiedonsiirron kehittämiseksi. Ensimmäisiä hankkeita oli vuosien 2001–2005 sisällä Tekesin puolesta aloitettu moniosainen infra-teknologiaohjelma. Ohjelman tavoite oli kehittää infraprojektien tiedonsiirtoa eri suunnittelujärjestelmien välillä. Ohjelman avulla luotiin kaikille avoin menetelmä suunnitelmatietojen siirtoon, inframodel 1. Inframodel 1 perustuu kansainväliseen LandXML-standardiin. Inframodelin 1 ensimmäinen versio julkaistiin maaliskuussa 2006, jonka jälkeen suunnitelmatiedostojen toimittamista Inframodel-formaatissa on vaadittu useissa eri projekteissa. Muun muassa Liikennevirasto edellyttää Inframodel 3 (IM3) -tiedonsiirtoformaatin käyttöä kaikissa 1.5.2014 lähtien alkavissa kohteissaan ja nykyisin suurin osa koneohjausohjelmistoista, takymetreistä ja suunnitteluohjelmistoista tukevat tätä formaattia. [14.]

LandXML on tiedostonsiirtostandardi, joka kuvaa osakokonaisuuksittain maarakentamisen tiedonsiirrossa käytettävän Inframodel-tiedonsiirron tarkemman sisällön ja sen esitystavan. LandXML perustuu XML-standardiin, jossa XML-kieltä käytetään formaattina tiedonvälitykseen järjestelmien välillä ja dokumenttien tallentamiseen (kuva 12). Yhtenäinen formaatti tuo toiminnallisia etuja, parantaa monikäyttöisyyttä, tiedon säilymisaikaa sekä antaa yksityiskohtaisempaa tietoa sisällöstä ja tehostaa suunnittelutyötä. On olemassa myös muita menetelmiä tiedonsiirtoa ja hallintaa varten. Esimerkiksi erilaiset projektipankit ovat yleistyneet valtavasti. Projektipankkien ideana on yhtenäinen tietokanta, jolloin uusimmat suunnitelmaversiot on projektin eri osapuolilla nähtävänä mahdollisimman nopeasti. [15, 16, 17.]



Kuva 12. LandXML-formaatin sisälle saatavat tiedot suunnitelmakuvaa varten. [13.]

Tiedonsiirto työmaalla

Tiedonsiirto työmaalla suunnitelmamalleista huolehtivan mittamiehen ja työkoneen välillä on hyvin suoraviivaista ja yksinkertaista. Keinoja siirtää halutut mallit työkoneeseen on muutamia. Vanhemmissa malleissa mallit ja tiedot voitiin siirtää vain usb-väylään kytkettävää muistitikkaa hyväksi käyttäen (kuva 13), josta ne tallennetaan päätelaitteen kiintolevyille. Uudemmissa laitteissa on jo mahdollisuus siirtää internetin välityksellä työsuunnitelmat ja tiedot työkoneen ja lähettäjän välillä. Tällöin suunnitelmat voidaan ladata erilliselle palvelimelle, josta työkoneenkuljettaja voi aina hakea uusimmat suunnitelmat tai osassa laitteista suunnitelmat voidaan siirtää etäyhteyden kautta suoraan työkoneeseen. Palvelimelta tehtävä tiedonsiirto voidaan toteuttaa myös automaationa tavalla, jossa laitteiston päälle kytkemisen jälkeen järjestelmä tarkistaa automaattisesti työkoneelle tarkoitetut suunnitelmat suoraan palvelimelta ja päivittää muutokset käyttöön. Osassa valmistajien uusimmista koneohjauslaitteista löytyy myös bluetooth-yhteys, jonka avulla suunnitelmien siirto helpottuu entisestään. Koneenkuljettajan käyttäessä internetyhteydellistä älypuhelinta, on esimerkiksi mahdollista lähettää työsuunnitelma koneenkuljettajan sähköpostiin, josta hän voi siirtää suunnitelman työkoneen koneohjausjärjestelmään langattomasti

bluetoothia käyttäen. Langattoman tiedonsiirron edut nähdään parhaiten ajallisina säästöinä, jolloin mittamiehen ei tarvitse mennä jokaisen työkoneen luokse aina uusien tai päivitettyjen suunnitelmien takia. Voidaan miettiä esimerkiksi tilannetta, jossa koneita on 10 km pitkällä tietyöalueella useita kymmeniä ja jokaiseen joudutaan päivittämään suunnitelmat. Tällöin suunnitelmien siirto langattomasti säästää työaikaa tunteja kerrallaan verrattaessa siihen, että suunnitelmat jouduttaisiin viemään fyysisesti työkoneiden järjestelmään.



Kuva 13. Tiedonsiirto työkoneen päätelaitteeseen usb-muistitikun avulla.

3.2.4 Muutokset työtapoihin työmaalla

Koneohjausjärjestelmän käytön vaikutukset heijastuvat sekä työmaalla toimivaan henkilöstöön, että työtapoihin. Uusien työtapojen käyttöönotto edellyttää uuden työprosessin sisäistämistä ja hyväksymistä. Kaikkien uusien laitteiden, niin myös koneohjausjärjestelmän käyttöönotto vaatii uuden opettelua ja perehtymistä. Uuden työtavan tai laitteen käytön opetteluun on alussa hyvä varata sopeutumis- ja tutustumisaikaa, mutta töiden olisi hyvä olla heti alusta alkaen sellaisia, joissa uutta työtapaa tuetaan ja sitä joutuu käyttämään. Tällöin uusien työtapojen käytöstä tulee rutiniin omaista mahdollisimman nopeasti sekä turha vierastaminen vähenee. Kuitenkin uuden työtavan, järjestelmän ja laitteiston kanssa työskenteleville työmaahenkilöille on tarvittaessa järjestettävä lisäkoulutusta.

Työnjohto

Työnjohdon on ensisijaisesti tiedostettava koneohjauksen luomat mahdollisuudet sekä työntekijöiden muuttuvat työnkuvat, jotta järjestelmästä saadaan kaikki hyöty irti. Työnjohdon tulee huolehtia, että koneohjausjärjestelmän käyttö työmaalla sujuu mahdollisimman ongelmitta sekä varmistaa kaikilta osapuolilta, että järjestelmän käyttöön liittyvät toimenpiteet ovat tiedossa. Sujuvuuden kannalta onkin tärkeää, että jokainen tietää koneohjausjärjestelmän tulon myötä tulevat uudet tai muuttuneet työnkuvansa. Lähtökohtaisesti ei voida olettaa, että järjestelmän käyttö tai siitä seuraavat uudet työprosessit ovat tuttuja kaikille osapuolille.

Yleisiä työnjohdon varmistettavia asioita koneohjauksen parissa toimivien kesken:

1. Työkoneenkuljettajan tietämys koneohjausjärjestelmästä, sen vaatimista tarkastuksista sekä niiden suoritusajankohdista.
2. Mittauspuolen kanssa tukiaseman asennus ja paikalleen mittaus
3. Mittauspuolen kanssa suunnitelmien oikea formaatti sekä koordinaatisto
4. Työkoneenkuljettajan ja mittauspuolen kanssa kaivinkoneelle tehtävät tarkistuspisteet.
5. Työkoneenkuljettajan ja mittauspuolen kanssa tapa, jolla suunnitelmat ja tiedot viedään ja tuodaan työkoneesta.

Kaivinkoneenkuljettaja

Koneohjausjärjestelmä on mahdollistanut töiden siirtämistä kaivinkoneenkuljettajalle ja tästä syystä myös työkoneenkuljettajan vastuu on lisääntynyt. Koneohjauksen myötä työkoneenkuljettajan vastuulla on seurata ja toteuttaa näyttöpäätelaitteella näkyvää työsuunnitelmaa sen siirtyessä perämieheltä perinteisestä maanrakentamisesta enemmän koneenkuljettajalle. Suunnitelmamalleista voidaan tehdä myös monta eri työvaihetta käsittäviä ja jotta näistä malleista saadaan täysi hyöty, tulee kuljettajan tietää nykyistä tarkemmin omat työvaiheet suunnitelman toteuttamiseksi. Työmaalle koneohjausta suunniteltaessa huomion arvoinen asia on kuljettajien ammattitaito. Tulee osata ottaa huomioon esimerkiksi lomatuurauksia tai sairastapauksissa tuuraavan kuljettajan tietämys koneohjausjärjestelmästä, jotta työt voivat jatkua ilman ajallisia viivästyksiä. Työnjohtajan tulisi ottaa huomioon kaivinkoneenkuljettajan

muuttunut työnkuva sekä lisääntynyt vastuu. Työnjohdon on huomioitava, että vastuu ei ole poistunut työnjohdolta kuljettajan seurattessa suunnitelmia itsenäisemmin, vaan vastuu säilyy työnjohdolla ja kuljettajan tukemiseksi on tehtävä huolellista laadun tarkkailua.

Kaivinkoneen perämies

Tarkkuutta vaativa kaivutyö on ryhmätyötä, jossa kaivinkoneenkuljettaja ja perämies työskentelevät yhdessä. Perinteisessä maarakennustyössä perämiehen tehtävä on olla kaivinkoneen ohjaaja. Perämies työ on toteuttaa työsuunnitelmia sekä näyttää mittamiehen merkitsemien korko- ja sijaintipisteiden perusteella kaivinkoneenkuljettajalle työvaiheesta riippuen, mistä hänen tulee kaivaa tai täyttää ja kuinka paljon. Perinteisessä maanrakennustyössä kaivinkonekuljettajan on lähes mahdoton toimia itsenäisesti tarkkuutta vaativissa kohdissa.



Kuva 14. Perämiehen tarve vähenee koneenkuljettajan saadessa tarvittavan tiedon koneohjausjärjestelmän kautta. [19.]

Perämiehen työnkuva muuttuu koneohjauksen tulon myötä. Koneohjaus mahdollistaa sen, että työkoneenkuljettaja pystyy itse seuraamaan reaaliaikaisesti suunnitelman mukaista työn etenemistä (kuva 14). Esimerkkinä tien rakennekerroksien korkeuden tai profiilin rakentamiseen ei tarvita perämiestä näyttämään oikeaa korkoa. Kuitenkin koneohjauksen tarkkuus ei ole riittävä suurinta tarkkuutta vaativissa töissä ja niissä perämiestä tarvitaan tarkastamaan oikea korko. Koneohjaus ei myöskään poista muita perämiehelle kuuluvia työtehtäviä, kuten maan tiivistämistä tai maahan asennettavan tekniikan asennusta. Työsuunnitelman seurannan siirtyessä enemmän konekuskien vastuulle, voisikin todeta, että perämiehen työ muuttuu koneohjauksen tulon myötä enemmän valvontaluonteiseksi työvaiheissa, joissa perämies oli ennen työkonetta ohjaamassa.

Mittamies

Mittausalan ammattilaisella on koko työmaan ja koneohjausjärjestelmän käytön kannalta tärkeässä roolissa. Ilman osaavaa mittamiestä on työnteko työmaalla usein hankalaa tai jopa mahdotonta, koska rakentaminen tapahtuu mittamiehen merkintöjen perusteella. Mittausmerkinnät tehdään aina ennen työsuoritusta tai mittauksia suoritetaan jatkuvana työn edistyessä. Koneohjausjärjestelmän kannalta keskeisimmät mittamiehen työt eri toteutusvaiheissa ovat:

- Suunnitelmien tarkastaminen, jotta niistä löytyy tarvittavat tiedot tietomallin tekemiseksi.
- Suunnitelmien muokkaus oikeaa työvaihetta koskevaksi sekä koneohjausjärjestelmälle sopivaksi.
- Työmaan koordinaatiston tarkastaminen ja suunnitelmien kääntäminen sen mukaiseksi.
- Suunnitelmien siirto koneohjausjärjestelmään.



Kuva 15. Mittaustyö tehdään maarakentamisessa perinteisesti takymetrillä. [18.]

Koneohjauksen avulla on mahdollista suorittaa osa maarakennustöiden mittauksista sekä tiedon keruusta. Kuitenkin tarkkuutta vaativissa kohteissa joudutaan käyttämään mittamiestä merkintöihin ja tiedon keruuseen (kuva 15). Onkin tärkeä huomioida, että mittamiehen tarve ei poistu työmaalta koneohjauksen myötä, vaan että työnkuva muuttuu enemmän mittaamisesta suunnitelmien ja tiedon käsittelemiseen.

4 Koneohjauksen ongelmat

Koneohjausjärjestelmään liittyvän laitteiston yleinen toimintavarmuus on saatu hyvälle tasolle. Järjestelmän toimivuuden kannalta suurimmat ongelmat käytössä ilmenevät signaalien kantavuudessa sekä inhimillisistä käyttövirheistä johtuvista asioista. Tukiaseman vioittumista voidaan pitää työmaan toimivuuden kannalta kriittisimpänä riskinä. Järjestelmän kokonaisvaltaisen toimivuuden kannalta tukiaseman asennustyöt tulee suorittaa huolellisuutta noudattaen. Mikäli työmaalla useampia koneohjattuja työkoneita, voi tukiaseman hajoaminen pahimmassa tapauksessa estää järjestelmän käytön kaikilta siihen yhteydessä olevilta työkoneilta. Muita useammin ongelmaksi tulevia signaalin laatuun vaikuttavia häiritseviä tekijöitä ovat suuret massakasat ja puut. Ne tulisi ottaa huomioon jo työmaan ennakoivia toimenpiteitä tehdessä. Häiriötekijöitä havaitessa pystytään niihin mahdollisesti varautumaan ennakoon tai jopa niistä hankkiutua eroon. Inhimillisistä ongelmista suurimmat ovat järjestelmän käytön osaamattomuus, epätietoisuus sekä välinpitämättömyys. Itse järjestelmän käyttö on parhaimmillaan erittäin yksinkertaista ja huoletonta, mutta siihen pääsemiseksi tulee ennakoivien töiden olla tehtynä huolellisesti.

4.1 Riskit koneohjauksessa

Mihin tahansa tekniikan käyttöön liittyy aina omat riskinsä, etenkin kun järjestelmän toimivuus on kiinni useiden eri teknisten osien yhteistoiminnasta. Koneohjausjärjestelmää käyttäessä on myös riskejä. Riskit eivät aina tarkoita pelkästään negatiivisia asioita, vaan myös mahdollisuuksia. Koneohjauksen luomia mahdollisuuksia on käsitelty aiemmin jo tässä opinnäytetyössä ja niitä ei käydä enää läpi tässä kappaleessa. Negatiivisia riskejä koneohjauksen käytöstä työmaalla löytyy suurimmaksi osaksi joko yllättävistä laitteisto vioista tai inhimillisistä erehdyksistä johtuen. Laitteisto vikoihin liittyvät riskit ovat sellaisia, joissa koneohjaukseen liittyvään laitteeseen iskee jonkinlainen tekninen vika. Näihin vikoihin on erittäin vaikea varautua etukäteen. Joitakin vikoja, kuten esimerkiksi huonosti kiinnitettyjä tai löystyneiden antureiden kaapeleiden rikkoontumisia tai muita voidaan ennalta ehkäistä koneen rutiinitarkastuksissa, joita tehdään aina ennen koneen käyttöönottoa tai huolloissa, joissa sen kunto käydään tarkemmin läpi. Pahimmillaan tällaiset pienetkin ongelmat voivat luoda suuria ajallisia tappioita koneen seistessä ja odotellessa huoltomiestä. Voidaan ajatella tilannetta, jossa kaivinkone kaivaa itsenäisesti putkikaivantoa ja

työkoneesta hajoaa koneohjaukseen liittyvä anturi. Tällöin työkone ei pysty jatkamaan enää työntekoa, vaan se joutuu jäämään odottamaan uutta varaosaa, josta syntyy ajallisia ja siten tuotannollisia tappioita.

Inhimillisiksi riskeiksi voidaan laskea sellaisia asioita, joita tapahtuu usein huolimattomuuden tai välinpitämättömyyden takia. Tällaiset asiat johtuvat usein siitä, että koneohjausjärjestelmää käyttänyt henkilö on uusi järjestelmän parissa, eikä ole käyttänyt järjestelmää kovinkaan paljon. Huolimattomuuden tai unohduksen takia tekemättä jäänyt kauhan vaihto järjestelmässä voi johtaa suuriin virheisiin kaivettaessa laajoja alueita. Kun ajatellaan esimerkiksi 100 m pitkää ja 3 m leveää kaivantoa, jossa koneohjausjärjestelmässä kauhan vaihdon tekemättä jättämisen takia työkone on kaivanut 0,3 m liian syväälle. Se tekee jo 90 m³ verran liikaa kaivuuta, joka on jollain kuljetusvälineellä pitänyt kuljettaa pois sekä sitten täyttää uudelleen kaivantoa täytettäessä. Molemmista asioista koituu sekä ajallisia, että tuotannollisia tappioita. Toinen huolimattomuuden tai välinpitämättömyyden takia tapahtunut virhe on tarkastuspisteellä käynnin unohtaminen tai laiminlyönti. Tarkastuspisteellä olisi hyvä käydä joka aamu, ennen varsinaisten töiden aloitusta. Tällä voidaan varmistaa, että koneohjauksen näyttämä sijaintitieto pitää paikkansa ja sitä voidaan korjata. Muuten seuraukset voivat olla samankaltaiset kuin edellä on kerrottu.

4.2 Laitteistosta johtuvat ongelmat

Laitteistosta johtuvia vikoja koneohjauksen ympärillä on monia erilaisia. Laitteiston viat ovat pääsääntöisesti harvinaisia ja koneohjausjärjestelmää voidaan pitää kohtalaisen varmana. Kuitenkin mahdolliset laitteiston vioittumisesta johtuneet ongelmat ovat yleensä sellaisia, jotka pysäyttävät työnteon pidemmäksi aikaa, mutta niitä esiintyy harvoin. Laitteisto viat ovat työmaan kannalta ajallisesti eniten työtä hidastavia.

4.2.1 Laitteiston viat työkoneissa

Työkoneiden osalta koneohjausjärjestelmän laitteistoviat kohdistuvat pääosin neljään eri järjestelmän komponenttiin. Nämä neljä eri vikaa ovat:

- Anturiviat
- Kaapeliviat

- Vioittuneet antennit
- Näyttöpäätteen viat.

Laitteistoon kohdistuvat viat ovat pääosin anturivikoja (kuva 16). Anturit keräävät tietoa työkoneen asennosta ja liikkeistä sekä välittävät tiedon päätelaitteelle, josta koneenkuljettaja voi havainnoida esimerkiksi kauhan asennon. Anturit sijaitsevat kaivinkoneessa eri kohdissa puomia. Vaikka anturit pyritään asentamaan suojaan paikkaan tai suojalevyn alle, ovat ne silti alttiita iskuille. Koneohjausjärjestelmästä riippuen koneohjauslaitteisto tutkii aina järjestelmään kytketyt anturit järjestelmää käynnistettäessä ja osaa ilmoittaa anturivioista, jos se havaitsee, että sellainen on mennyt rikki. Kuitenkin joskus on tullut eteen anturivikoja, joissa järjestelmä on ilmoittanut anturin olevan kunnossa, vaikka todellisuudessa se oli rikki. Uuden anturin paikalleen asentaminen on pikaliittimien avulla nopea toimenpide, mutta koko asennuksesta tekee hitaan se, että anturi tulee mitata paikalleen erittäin tarkasti.



Kuva 16. Antureiden sijainti kaivinkoneessa.

Kaapelivikoja esiintyy satunnaisesti. Kaapeleilla yhdistetään eri koneohjauksen komponentit toisiinsa. Yleisemmin ne katkeavat tai vaurioituvat puomin alueelta jonkin iskun seurauksena. On ilmennyt myös peräpuntin alueelle, antenneihin menevissä kaapeleissa vikoja. Suurin syy näihin on luultavasti ollut kaapelin huono vetoreitti, jolloin kaapeli on saattanut olla liian lähellä kuumia moottorin osia tai ottanut häiriötä muista sähkökomponenteista. Rikkinäisen kaapelin vaihto on yleensä puomin alueella nopea ja yksinkertainen toimenpide, jos pystytään varmistumaan kaapelin rikkinäisyydestä. Peräpuntin alueella uuden kaapelin veto on hitaampaa, mutta varsin yksinkertaista. Kaiken kaikkiaan kaapeleista aiheutuvat ongelmat ovat kokonaisuutta ajatellen hyvin pienessä osassa.

Koneohjausjärjestelmä tarvitsee mahdollisimman hyvän näköyhteyden sekä tukiasemaan, että taivaalla oleviin satelliitteihin, jotta työkoneen sijainti voidaan määrittää mahdollisimman tarkasti. Näköyhteyttä edesauttamaan koneohjausjärjestelmän antennit ovat sijoitettu mahdollisimman korkealle, yleensä noin metrin korkean asennustolpan päälle (kuva 17). Korkealle ja irti koneesta asennetut antennit ovat alttiita iskuille, jos koneen täytyy tehdä töitä ahtaissa tiloissa esimerkiksi puiden läheisyydessä. Antenneita on myös asennettu pakoputken taakse, jolloin ne nokeentuvat ja ovat alttiita suurelle lämpökuormalle. Tästä ei kuitenkaan ole kerättyä tietoa onko siitä ollut haittaa tai onko se ollut syy antennien hajoamisiin. Vioittuneiden antennien vaihtaminen on nopeaa. Antennit ovat yleensä nopealla pikakiinnityksellä kiinni ja niiden vaihtaminen ei vaadi muutoksia järjestelmään tai antennien uudelleen mittausta. Antenni viat ovat harvinaisia, mutta kalliita. Työkoneen seisominen ja uuden antennin hinta voi nousta nopeasti tuhansiin euroihin. Tässä opinnäytetyössä tutkituista koneista vain yhteen oli vaihdettu molemmat antennit.



Kuva 17. Kahden antennin koneohjausjärjestelmän antennit. [29.]

Näyttöpäätelaite on koneohjauksen hermokeskus (kuva 18). Se yhdistää kaiken antureilta ja antenneilta saadun datan, näyttää koneen sijainnin työmaalla ja toimii koneohjausjärjestelmän käyttöalustana. Näyttöpäätelaite sisältää yleensä jonkinlaisen perustietokoneen komponentit ja johon on asennettu valmistajan oma käyttöjärjestelmä. Päätelaite on koneohjauksen teknisin ja eniten elektroniikka sisältävin yksittäinen moduuli. Siinä on valtavasti eri komponentteja ja sinänsä omaa suurimman vaaran, että jotain voi rikkoutua. Näyttöpäätelaitteen ollessa erillinen yksikkö, on sen vaihtaminen yksinkertaista, mutta kallista. Viat näyttöpäätteissä olivat tässä opinnäytetyössä tutkituista koneista harvinaisia ja vain yhteen oli vaihdettu näyttöpäätelaite.



Kuva 18. Koneohjausjärjestelmän näyttöpäätelaite. [30.]

4.2.2 Viat tukiasemissa

Maata kiertää paikannussatelliitteja noin 21000 km korkeudessa. Signaalin matka on työkoneseen ja satelliitin välillä erittäin pitkä ja altis erilaisille häiriötekijöille. Nämä häiriötekijät heikentävät mittauksien tarkkuutta. Tukiaseman avulla mittatarkkuutta voidaan parantaa erittäin tehokkaasti. [22.] Tukiasema sijoitetaan tunnetulle pisteelle, josta se jakaa tarkennussignaalia työkoneisiin. Tukiasemaa pidetään yleensä sisätiloissa suojassa ympäristön vaikutuksilta eikä se ole alttiina iskuille. Ongelmat tukiasemien kanssa ovatkin yleensä johtuvia huolimattomuudesta sekä huonoista asennuksista. Selkeästi suurin huomattu ongelma on tukiasemaan liitettyjen antennien huono kiinnitys sekä niiden kaatuminen sen seurauksena. Myös kaapeleiden huono kiinnitys ja niiden löystyminen kiinnityskohdista on johtanut ongelmiin tiedonsiirrossa työkonien ja tukiaseman välillä. Osilla työmaista on huomattu ongelmia tarkennussignaalin lähetyksessä. Nämä viat ovat suurimmaksi osaksi korjaantuneet tukiaseman uudelleen käynnistämällä. Laitteisto on muuten ollut käytössä hyvin varmaa ja laitteistovikoja ei yksittäisiä verkkovirtamuuntajia lukuun ottamatta ole juurikaan ilmennyt.

4.2.3 Ohjelmistojen ja suunnitelmien luomat ongelmat

Yksi laajimmista haasteista koneohjauksen suunnitelmien kanssa syntyy niiden eri formaateista. Vaikka eri valmistajat lupaavat tuen LandXML-tiedostoille, on niiden käyttö ollut vaikeaa tai mahdotonta, kun esimerkiksi suunnitelmatiedosto on luotu LandXML-formaattiin AutoCad-suunniteluohjelmistolla. Monen eri valmistajan koneohjausjärjestelmälle suunnitelmat on jouduttu kääntämään eri ohjelmilla uudelleen järjestelmän ymmärtämään muotoon. Tästä syntyy lisää turhaa ja aikaa vievää työtä. Valmistajien ohjelmistojen ollessa jopa tuhansien eurojen arvoisia, voi käydä niin, että tiedosto on lähetettävä muualle käännettäväksi oikeaan muotoon. Käännökseen tarvittavaa ohjelmaa ei välttämättä kannata hankkia sen kalleuden takia, kun muutoin sille ei ole käyttöä. Tämän takia voi olla mahdollisesti viisasta yrittää keskittää työmaan koneohjausjärjestelmät saman valmistajan piiriin. Järjestelmät saavat kuitenkin jatkuvasti uusia päivityksiä ja tulevaisuudessa ongelmasta on päästy varmasti eroon, järjestelmien tukiessa muita formaatteja paremmin sekä LandXML:n perustuvan avoimen inframodel 3 -tiedonsiirtoformaatin yleistyessä [23].

Suunnitelmien formaattiongelmien lisäksi suunnitelmien sisältämän tiedon puutteellisuus on vieläkin ongelma. Koneohjausjärjestelmä, kuten kaikki muut tietomallia hyödyntävät järjestelmät tarvitsevat suunnitelmassa korkeussuunnassa olevan z-koordinaatin tiedot. Pelkillä x- ja y-koordinaateilla suunnitelma on niin sanotusti 2D, josta tietomallissa sijaitsevan objektin korkomaailma ei selviä. Mikäli z-koordinaattia ei ole annettu suunnitelmia tehdessä, on tietojen lisääminen työmaalla hidasta ja työlästä. Ongelman laajuus on pienenemässä jatkuvasti rakennusprojektien tilaajien vaatiessa yhä enemmän tietomallien käyttöä työnteon tukena.

Koordinaattijärjestelmät voivat aiheuttaa työmaalla päänsärkyä. On hyvin yleistä, että isompia rakennusprojekteja pilkotaan pienemmiksi urakoiksi. Tällöin myös pilkotut alueet on voitu suunnitella eri koordinaattijärjestelmissä. Tästä voi seurata ongelmia sekä huolimattomuusvirheitä varsinkin jos koordinaattijärjestelmät ovat hyvin lähellä toisiaan. Tilanteessa, jossa esimerkiksi työryhmä vaihtaa työmaan sisällä työpistettä usein ja jossa samalla vaihtuu koordinaattijärjestelmä, on työkoneenkuljettajan tiedostettava koordinaattijärjestelmän vaihtuminen sekä muistettava tehdä vaihdos työkoneen koneohjausjärjestelmään.

Työtä hidastavia tekijöitä työmaalla voi syntyä myös eri rakennepintojen taiteviivat ja suunnitelmien runsas määrä koneohjausjärjestelmässä. Rakennepintojen taiteviivojen määrä sekä mitä kerrosta taiteviiva tarkoittaa, on aiheuttanut ongelmia varsinkin vakituista kuljettajaa tuuraavien kuljettajien kanssa. Tuuraava kuljettaja voi osata perus asiat koneohjausjärjestelmän käytöstä, mutta ei välttämättä omaa tarpeeksi vahvaa taitoa käyttää koneohjausjärjestelmän kaikkia toimintoja. Asia monimutkaistuu vielä mahdollisesti eri valmistajan ja tuntemattomia koneohjausjärjestelmiä käyttäessä. Asiaa on pyritty helpottamaan tuuraavien ja usein myös vakituisten kuljettajien kanssa laittamalla koneohjausjärjestelmään menevään malliin vain yhtä rakennepintaa kuvaavat taiteviivat. Pidemmän työmaan aikana tästä voi kuitenkin syntyä ongelmia, kun koneohjauslaitteeseen tuodaan monia kymmeniä eri suunnitelmia eikä vanhoja suunnitelmia muisteta poistaa, jolloin suunnitelmien selaaminen on hidasta ja vaivalloista. [24. ja 25.]

4.3 Tiedonsiirrosta johtuvat ongelmat

Tiedonsiirron ongelmat ovat kaikista näkyvimmit ja yleisimmät ongelmat työmaalla. Tiedonsiirron ongelmien esiintyminen on laajaa, yleisesti niitä esiintyy joka viikko, mutta niiden vaikutus on useimmiten vähäinen työnteekoon. Kuitenkin jos tiedonsiirrosta johtuvat ongelmat esiintyvät usein, jatkuvat tai pitkittyvät, on niiden ratkonta pulmallista ongelmien monimuotoisuuden takia. Monimuotoisuudella tarkoitetaan tässä tiedonsiirron ongelman johtumista tukiasemasta, ympäristöstä, satelliiteista tai työkoneesta. On erittäin tärkeää yrittää eristää ongelma, jotta sille voidaan löytää ratkaisu. Tiedonsiirrosta johtuvat ongelmat ovat helpoimmillaan ratkaistavissa esimerkiksi tukiaseman antennin lähetyspisteen nostamisella tai toisaalta ne voivat olla erittäin vaikeasti ratkaistavia, jopa mahdottomia tilanteissa, jossa esimerkiksi työkone on korkeiden rakennusten tai puiden keskellä.

4.3.1 Ympäristön luomat haasteet signaalin kuuluvuuteen

Koneohjausjärjestelmän kanssa toimiessa ympäristön luomat ongelmat ovat sellaisia, joita on ehdottomasti vaikein ennustaa ja niiden torjuminen tai poistaminen on hankalaa. Signaalin eteneminen on riippuvainen satelliittipaikantimen käyttöympäristöstä. Ympäristön vaikutus signaalin kulkuun on voi olla merkittävä, jos vastaanottavan antennin lähistöllä on heijastavia elementtejä (kuva 19). Tällöin voi

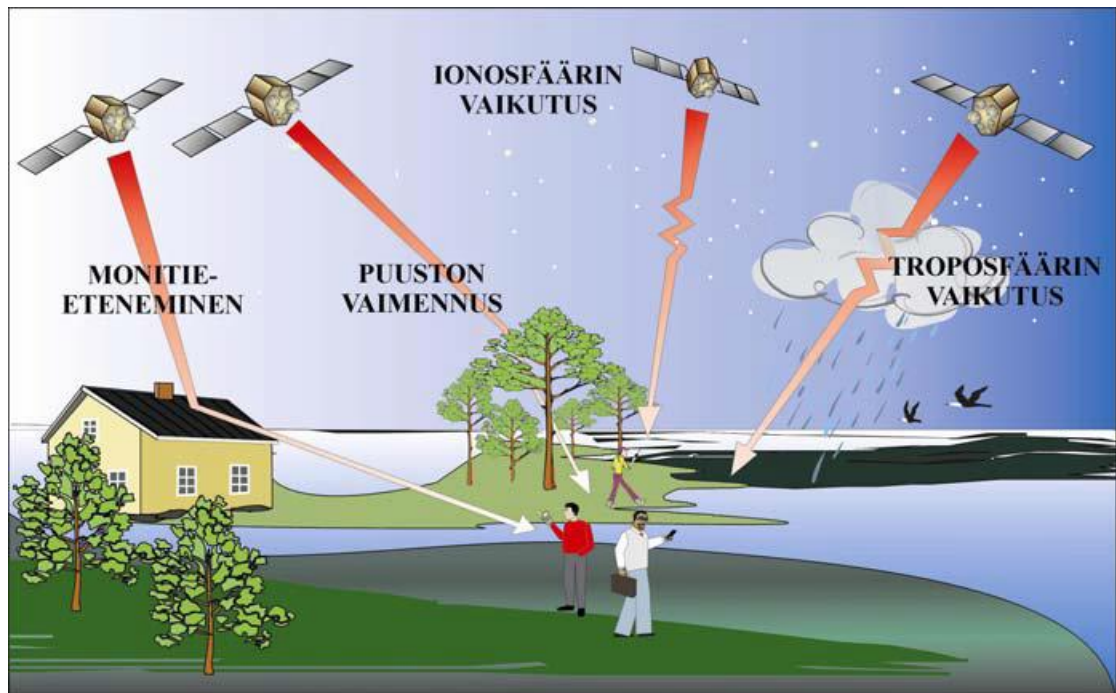
syntyä tilanne, jossa paikannin ei havaitsekaan suoraan satelliitista tulevaa signaalia, vaan viivästyneen ja heijastuneen signaalin. Tästä voi seurata paikannukseen useiden kymmenien metrien suuruinen systemaattinen virhe. Satunaisia virheitä mittaustulokseen voi aiheuttaa myös muun muassa ionosfäärin erityinen aktiivisuus; esimerkiksi revontulten aikana, jolloin voi esiintyä suuriakin hetkellisiä virheitä. Satunaisia mittaukseen vaikuttavia virheitä syntyy myös vastaanottimen kohinasta, joka on peräisin elektroniikasta ja sen signaalinkäsittelyn epätarkkuuksista.

Ympäristön tai maaston luomiin ongelmiin kuuluu muun muassa:

1. Korkea, tiheä kasvillisuus
2. Korkeat rakennukset
3. Suuret maaston korkeuserot; nyyt ja kukkulat, pohjanteet
4. Maa-aines tai muut kasat
5. Sääolosuhteet

Ympäristön ja maaston luomiin ongelmiin törmätään jokaisella rakennuspaikalla, oli työmaan sijainti keskellä kaupunkia tai tyhjällä maaseudulla. Kaupungeissa ongelmia voi aiheuttaa korkeat rakennukset tai rakennelmat ja kaupungin ulkopuolella koskemattomassa maastossa korkeat puut. Suuria maaston korkeuden vaihteluita sekä maa-aines tai muita kasoja voi esiintyä niin kaupungeissa ja kaupungin ulkopuolella. On toki mahdollista, että puita, maa-aines kasoja tai muita rakennelmia voidaan töiden ajaksi poistaa väliaikaisesti tai pysyvästi, mutta jos se ei ole välttämätöntä suunnitellun työn kannalta, tulee siitä turhia kustannuksia. Varsinkin kaupunkien sisällä hyvin usein puiden tai maaston väliaikainenkin muokkaaminen on kiellettyä viranomaisten puolelta. Jos nämä asiat vaikuttavat korjaussignaalin kuuluvuuteen, ainoita mahdollisuuksia on tukiaseman siirtäminen paikkaan, jossa yhteyden voimakkuus on tarpeeksi vahva työkoneen ja tukiaseman välillä. Yksi mahdollisuus on myös kokeilla VRS-palvelun korjaussignaalia. Asia johon edes tukiaseman siirtäminen tai VRS-palvelu ei auta on ongelmat sään kanssa. Koneohjausjärjestelmä tarvitsee näkyvyyden satelliitteihin ja selkeä pilvetön taivas olisi optimitilanne, johon kuitenkin harvoin päästään. Huonoimmassa tapauksessa sääolosuhteet voivat vaikuttaa signaalin kulkuun koneohjausjärjestelmän vastaanottimen ja satelliittien välillä. [26.] Sääolosuhteisiin ei pystytä vaikuttamaan ja työtä olisi pystyttävä tekemään sääolosuhteista riippumatta. Mahdollisuuksia asian parantamiseksi on vastaanottimien vaihtaminen herkempiin,

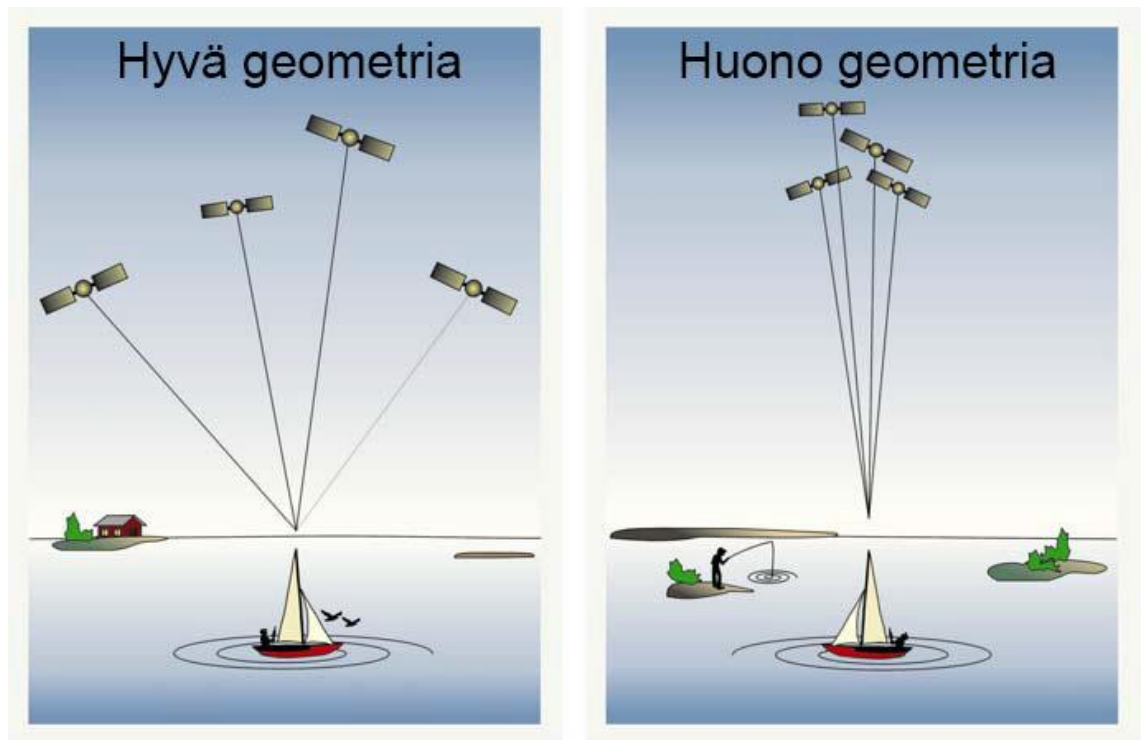
jotka varmistavat kuuluvuuden myös huonommissa olosuhteissa, mutta sellaisia ei toistaiseksi ole vielä markkinoilla.



Kuva 19. Satelliittipaikannuksen virheisiin vaikuttavia tekijöitä. [27.]

4.3.2 Satelliittien signaalista johtuvat kuuluvuus ongelmat

Koneohjausjärjestelmät käyttävät hyödykseen sekä amerikkalaisten GPS- että venäläisten Glonass-paikannusjärjestelmää. Kuitenkin Suomen sijaitessa maapallolla korkeilla leveysasteilla, on satelliittien kuuluvuudessa huomattu paikoitellen ongelmia. Signaaliin satelliiteista johtuvia virheitä ovat sen kellon ja ratatietojen epätarkkuus. Näiden virheiden merkitys normaalissa käytössä on käytännössä vähäinen. [27.] Vastaanottimet tarvitsevat vähintään kolme yhteistä satelliittia, joiden avulla se suorittaa kolmiomittauksen ja paikantaa tarkan sijainnin. Loppuja satelliitteja järjestelmä käyttää mittaustuloksen parantamiseen. Satelliittien kellon ja ratatietojen epätarkkuuden takia tavallisilla navigointijärjestelmillä päästään noin kolmen metrin tarkkuuteen. Tätä tarkkuutta parantamaan käytetään tukiasemaa. [28.] Taulukossa 4 on esitetty GPS-paikannuksessa satelliittiin mitattuun etäisyyteen virhettä aiheuttavia tekijöitä ja niiden suuruuksia. Paikannuksen tarkkuuteen vaikuttaa myös satelliittigeometria. Tilanteessa, jossa satelliitit ovat jakautuneet tasaisesti eri puolille taivasta, on tarkkuus parempi kuin tilanteessa, jonne ne ovat lähellä toisiaan. Kuva 20 havainnollistaa hyvän ja huonon satelliittigeometrian. [27.]



Kuva 20. Paikannukseen vaikuttava satelliittien hyvä ja huono satelliittigeometria. [27.]

Työmaalla satelliiteista johtuvia ongelmia oli hyvin vaikea eritellä, koska ongelma yleensä aina johtuu jostain muusta syystä. Satelliittien näkyvyyttä tarkasteltaessa huomattiin kuitenkin iso ero järjestelmän toiminnassa aamu ja iltatunneilla. Aamulla ja illalla koneohjausjärjestelmä näki jopa puolet vähemmän satelliitteja taivaalla kuin keskipäivällä. Huomattiin myös, että yhteys hävisi paikoitellen Glonass-satelliitteihin Ukrainan kriisin alla. Varmistusta teoriaan, jossa Ukrainan kriisi olisi vaikuttanut satelliittien kuuluvuuteen, ei pystytty näyttämään. Kuitenkin vertailtaessa katkoja edellisen päivän uutisiin ulkomailta, osuivat katkot niiden pohjalta päällekkäin.

Taulukko 4. Paikannukseen aiheuttavat virheen tekijät ja suuruudet. [27.]

Virheen aiheuttaja	Keskimääräinen virhe (m)
Satelliitin kello	0,57 m
Satelliitin rata	1,43 m
Ionosfääri	7 m
Troposfääri	0,25 m
Vastaanottimen kohina	0,8 m

5 Tulokset

Suurin hyöty koneohjausjärjestelmästä saadaan, kun kaikki työvaiheet pystytään toteuttamaan koneohjauksen avulla digitaalisen suunnitelma-aineiston pohjalta eikä rakenteiden merkintämittausta näin tarvitsi tehdä enää maastossa. Koneohjausjärjestelmän tehokkuus on monissa eri pilotti- ja rakennusprojekteissa todistettu. Kuitenkin koneohjausjärjestelmän käytössä on löytynyt ongelmia, jotka ovat heikentäneet järjestelmän tehokkuutta ja aiheuttaneet hukkatunteja. Tässä luvussa käydään läpi kahden eri maanrakennusprojektin aikana esille tulleet ongelmat sekä niiden aiheuttamat hukkatunnit.

5.1 Helsingin Kruunuvuorenrannan länsiosan rakentaminen

Kruunuvuorenrannan länsiosan rakentaminen aloitettiin esivalmisteluineen keväällä vuonna 2014. Helsingissä sijaitsevassa Kruunuvuorenrannassa sijaitsi ennen öljysatama sekä monen eri öljy-yhtiön öljyhuoltotoimintaa. Nyt alue on kaavoitettu asumiskäyttöön ja jonne on määrää rakentaa 400 000-500 000 k-m² asuintiloja ja 50 000 k-m² toimitiloja (35.). YIT Rakennuksen urakkaan kuului kahden eri asuinkorttelialueen tiestö ja sen alle tehtävät kunnallistekniikat sekä osa Koirasaarentiestä ja kahden kerrostaloalueen perustusten pohjien esityöt. Kaivinkoneiden lukumäärä on työmaalla vaihdellut kolmesta yhdeksään, joista viidessä kaivinkoneessa oli käytössä koneohjausjärjestelmä. Tien rakennepintoja tehdessä käytössä oli myös koneohjattu höylä. Jokaisella työkoneella oli oma tehtävä ja ne olivat jakautuneet eri työalueille, joissa myös maaston olosuhteet olivat erilaiset. Koneohjausjärjestelmässä toimi rakennusaikana varmasti, pieniä ongelmia lukuun ottamatta.

Kruunuvuorenrannassa koneohjausjärjestelmä toimi hyvällä varmuudella, kuten taulukosta 5 käy ilmi. Koneohjausjärjestelmän käytössä ei esiintynyt järjestelmällisesti ongelmia, mutta ajoittaiset ongelmat, jotka ilmaantuivat, olivat yleensä tukiaseman ja työkoneen väliseen korjaussignaalin kuuluvuuteen tai satelliittien näkemiseen liittyviä. Kahden viikon seurantajakson (liite 1.) aikana koneohjattuja työkoneita oli käytössä kolme, joista kahdessa koneessa esiintyi näitä ongelmia. Toisen koneen ongelmat poistuivat päätelaitteen käyttöjärjestelmän ja ohjelmiston täydellisen uudelleen asennuksen jälkeen ja toisen koneen hetkellinen häiriö johtui ympäristöstä.

Aikaisempia, ennen seurantajaksoa ylös kirjattuja työkoneiden laitteistoon liittyviä ongelmia oli esiintynyt vain yksi, jossa yhdestä koneesta oli rikkoutunut yksi anturi. Muita ongelmia työmaan aikana työkoneiden koneohjauslaitteistoon ei ole esiintynyt ja anturin vaihtoon ei kulunut työpäivää pidempään. Muita aiemmin olleita laitteisto vikoja esiintyi tukiasemassa. Tukiaseman verkkovirran muuntajasta löytyi pullistuma, joka olisi voinut rikkoa koko tukiaseman rikkoutuessaan, mutta muuntaja ehdittiin vaihtamaan ennen vanhan muuntajan täydellistä rikkoutumista. Toinen tukiasemaa vaivaavista ongelmista esiintyi tavalla, jossa tukiasema antoi tarkistussignaalin vasta noin puoli yhdeksältä aamulla ja lopetti signaalin lähettämisen puoli neljältä päivällä. Tukiaseman mennessä korjaukseen, se korvattiin toisella, jolloin siitä johtuneet ongelmat loppuivat. Tästä seurasi arvioilta noin 30 % verran häiriötunteja kahden viikon ajalle, kunnes ongelma saatiin korjattua. Tukiaseman antennin asennuksessa oli myös parantamisen varaa. Se oli asennettu vain yhdellä pultilla kiinni työmaakopin kattoon, jolloin tuuli kaatoi sen erittäin tuulisena päivänä, josta aiheutui noin tunnin käyttökato.

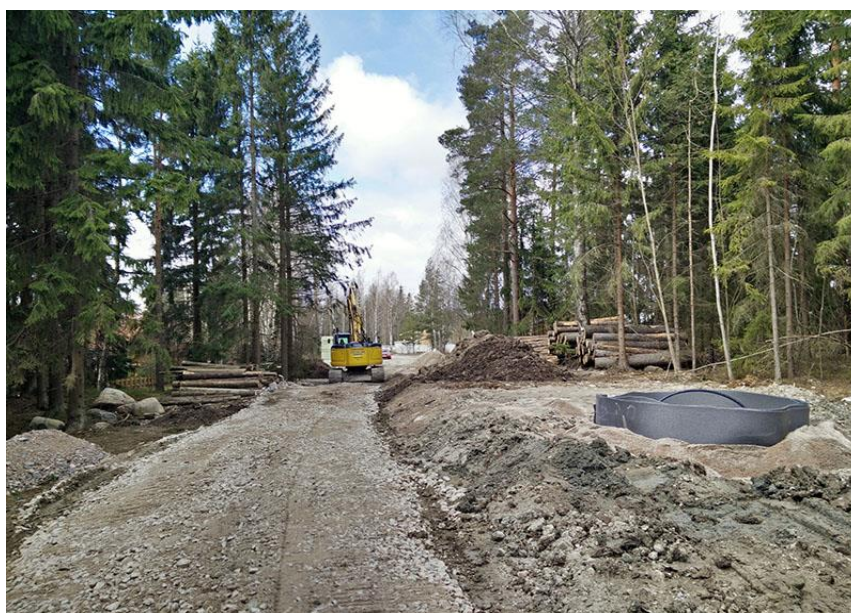
Taulukko 5. Koneohjauskoneiden häiriötunnit Helsingin työmaalla.

Työkone	Häiriötunnit työtunneista %
Kone 1	11,25 %
Kone 2	1,25 %
Kone 3	0 %
Yhteensä	4,17 %

5.2 Espoon runkovesijohto

Espoon runkovesijohdon putkiurakka on HSY:n tilaama kokonaisurakka, jonka YIT Rakennus toteuttaa. Putkiurakan suurin osuus sisältää 2,7 km pitkän ja 800 mm halkaisijaltaan olevasta valurautaputkesta rakennetun uuden runkovesijohdon. Rakennustyöt esivalmisteluineen alkoivat vuoden 2013 lopulla. Kaivinkoneita on työmaalla neljä, joista kahdessa on koneohjausjärjestelmä. Työkoneet toimivat pareittain kahdessa ryhmässä, joissa molemmissa on yksi koneohjattu työkone. Koneohjausjärjestelmä on työmaalla ollut toimiessaan erittäin hyvä.

Koneohjausjärjestelmän kanssa suurimmat murheet työmaan edetessä ovat olleet korjaussignaalin kuuluvuus tukiaseman ja työkoneen välillä sekä tukiaseman ja työkoneen välillä yhteisten satelliittien näkemisessä. Muuten koneohjausjärjestelmä on ollut hyvin luotettava. Laitteistoon liittyviä ongelmia on esiintynyt vain muutama, joista yhdestä koneesta oli rikkoutunut yksi anturi ja näyttöpäätelaitteessa oli muutaman kerran sim-kortin asennusreikään menevän kosteuden kanssa ongelmia ja toisesta koneesta katkennut anturille menevä kaapeli. Laitteistorikoista johtuvat ongelmat on saatu hoidettua jo saman päivän aikana, eikä niistä ole aiheutunut suuria hidasteita työntekoon. Muita täysiä hukkapäiviä oli seurantajaksoa aiemmin tapahtunut kaksi. Yhtenä niistä Elisan verkko oli kaatunut ja tarkistussignaalia ei pystytty lähettämään Elisan verkon kautta työkoneille ja toisena sähköverkko oli kaatunut, jolloin tukiasema ei saanut virtaa, eikä näin ollen pystynyt jakamaan tarkistussignaalia.



Kuva 21. Putkikaivannon sijainti korkean ja tiheän puuston välissä.



Kuva 22. Työpiste puiden katveessa.

Taulukosta 6 nähdään, että koneohjausjärjestelmän ongelmat olivat työkoneiden seurantajaksolla varsin vähäisiä. Kaikki seurantajaksolle osuneet ongelmat olivat korjaussignaalin tai yhteisten satelliittien puutteesta johtuvia. Ongelmia ja niiden toistuvuutta selvittäessä selvisi, että ongelmien toistuvuus oli hyvin samanlaista samoissa ympäristöolosuhteissa työskennellessä. Jos ympäristö oli aavaa, ilman esteitä, ei myöskään koneohjausjärjestelmässä havaittu ongelmia. Kuitenkin työpisteen sijaitessa laakson pohjalla ja työkoneen ympäristön ollessa tiheää ja korkeaa puustoa (kuva 21 ja 22), oli signaalien saanti monin paikoin jopa mahdotonta, jolloin jouduttiin siirtymään perinteiseen rakennustapaan. [35.] Ongelmaa pystyttiin jossain määrin myös kiertämään niin, että työkone ajoi hiukan aavemmalle paikalle, josta se sai napattua signaalin ja jonka jälkeen se ajoi takaisin työpisteelle, mutta kaikkialla tämä ei ollut mahdollista. Näistä aiemmin esiintyneistä ongelmista oli seurannut toiselle työryhmälle parin viikon aika, jolloin koneohjausjärjestelmä oli käyttökelvoton.

Taulukko 6. Koneohjauskoneiden häiriötunnit Espoon työmaalla.

Työkone	Häiriötunnit työtunneista %
Kone 1	12,5 %
Kone 2	2,5 %
Yhteensä	7,5 %

6 Yhteenveto

Opinnäytetyössä perehdyttyjen työmaiden perusteella koneohjausjärjestelmä on tulevaisuuden rakentamista ja käyttöä tulee lisätä. Koneohjausjärjestelmällä saavutetaan huomattavia ajallisia säästöjä, käytetään vähemmän resursseja saman työn tekemiseen ja siten myöten saavutetaan oleellisia kustannussäästöjä. Koneohjauksen avulla pystytään rakentamaan huomattavasti tarkemmin sekä parantamaan työn laatua ja työturvallisuutta. Koneohjauslaitteet tukevat myös kasvihuoneilmiön vähentämistä työn tehokkuuden nousulla sekä polttoaineiden kulutuksen vähentämisellä. Opinnäytetyön tavoitteena oli kartoittaa koneohjauksen ongelmat työmaalla ja luoda materiaali koneohjausjärjestelmästä, jossa ongelmat on kerrottu yksiselitteisesti sekä sivuta koneohjauksen hyötyjä ja haittoja. Loppuun on myös liitetty muistilista helposti poistettavien ongelmien välttämiseksi (liite 2.). Projektin alussa asetettu lopputulos saavutettiin.

Omat johtopäätökset ja koneohjauksen tulevaisuus

Koneohjausjärjestelmä on selkeästi vakiintumassa osaksi maanrakennustyötä ja sen käyttö on arkipäivää useimmilla suurilla työmailla. Tietomallien käytön vain noustessa tulevaisuudessa tulee myös koneohjausjärjestelmän käyttö lisääntymään. Koneohjausjärjestelmät ovat selkeästi esillä ajankohtaisena aiheena infra-alan julkaisuissa, jonka myös infra-alan tietomallia varten perustetut hankkeet todistavat. Urakoitsijoita kiinnostavat koneohjausjärjestelmän tuomat mahdollisuudet työn tehokkuuteen parantamisessa, mutta kuten tässä tutkimuksessa kävi ilmi, syövät turhat hukkatunnit koneohjauksen tehokkuutta. Tulevaisuudessa laitteiston kehittyessä osa ilmenneistä hukkatunneista tippuu varmasti pois kokemuksen myötä. Myös ympäristöolosuhteita ymmärretään ottaa paremmin huomioon suunnittelussa, jolloin osataan varautua paremmin vastoinkäymisiin jo ennakoon ja välttää monilta nyt esiintyneiltä ongelmilta. Koneohjauksen tulevaisuus on valoisa ja viimeisenä päätelmänä koneohjausjärjestelmistä voi sanoa että se on tulevaisuuden rakentamistapa.

Lähteet

- 1 Wikipedia verkkosivu. Luettu 4.3.2015. <http://fi.wikipedia.org/wiki/YIT>
- 2 Hirsjärvi, Remes & Sajavaara. Tutki ja kirjoita. Tammi. 2009.
- 3 Kilpeläinen, Nevala, Tukeva, Rannanjärvi, Näyhä, Parkkila. 2004. Älykäs tietyömaa - Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus. Verkkodokumentti VTT Elektroniikka. Luettu 8.3.2015. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf>
- 4 Tekes 2006. INFRA – Rakentaminen ja palvelut 2001-2005 –teknologiaohjelma. Verkkodokumentti. Luettu 8.3.2015. <http://www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/infra.pdf>
- 5 Mäkelä. 2010. InfraTM-hanke ja InfraBIM-kehitystyö. Verkkodokumentti. Luettu 18.3.2015. http://www.rts.fi/infrabim/Tietomalli_muuttaa_toimintatavat.pdf.
- 6 Caterpillar. Road Construction Production Study 2006. Malaga Demonstration & Learning Center. Verkkodokumentti. Luettu 20.3.2015 http://construction.trimble.com/sites/construction.trimble.com/files/marketing_material/white%20paper%20-%20CAT%20Road%20Construction%202006.pdf
- 7 Daði Hrannar Aðalsteinsson. GPS machine guidance in construction equipment. 2008. Verkkodokumentti. Verkkodokumentti. Luettu 21.3.2015 http://construction.trimble.com/sites/construction.trimble.com/files/marketing_material/%20white%20paper%20-%20Productivity%20Report%20GPS%20For%20Excavators%202008.pdf
- 8 Pelkonen. 2012. Koneohjausjärjestelmän käyttö ja hyödyntäminen maanrakennusyrityksessä. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 9 Novatron. Kaivinkoneen 2D- ja 3D-koneohjausjärjestelmät 2015. Verkkodokumentti. Luettu 1.3.2015 <http://www.novatron.fi/pdf/Novatron%20brochure%202015%20FI.pdf>
- 10 Tekes 2010. Tietomallit ja koneohjaus katuhankkeissa. Verkkodokumentti. Luettu 21.2.2015. http://www.rts.fi/infrabim/InfraTM_pilotti_Tampere_Oulu_loppuraportti.pdf
- 11 Lillsund. 2014. Kaivinkoneen koneohjauksen tehokkuuden mittaaminen. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

- 12 Lillsund Mika. YIT Rakennus Oy, työnjohtaja. Puhelin haastattelu 23.2.2015
- 13 LandXML verkkosivu. Luettu 9.3.2015 <http://www.landxml.org/About.aspx>.
- 14 Junnonen. 2009. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Sastamala: Vammalan kirjapaino Oy.
- 15 Lakanen. 2013. Tietomallipohjaisen katusuunnittelun haasteet. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 16 Larionova. 2009. Väyläsuunnittelu ja väylän geometria- ja viivamallin tiedonsiirto Citycad-suunnittelujärjestelmässä. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 17 Liukas, Kemppainen. 2014. Yleiset inframallivaatimukset YIV2014. Osa 2.0 Yleiset mallinnusvaatimukset. Verkkodokumentti. Luettu 23.3.2015 http://infrabim.fi/luonnokset/YIV2014_Mallinnusohjeet_OSA2_YleisetVaatimukset_0.1.pdf
- 18 Kuva 15. Verkkodokumentti. <http://howimportant.com/wp-content/uploads/2014/02/How-Important-Is-The-Surveying-Equipment-For-Determining-Land-Boundaries.png>
- 19 Leica Geosystems. Leica PowerDigger 3D. The future of excavating. Verkkodokumentti. Luettu 25.3.2015. http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/machine/PowerDigger%203D/brochures/PowerDigger3D_BRO_en.pdf
- 20 Wikipedia verkkosivu. Luettu 27.3.2015. http://en.wikipedia.org/wiki/Problem_solving
- 21 Watanabe. 2009. Problem solving 101. A simple book for smart people.
- 22 Topgep koneohjausjärjestelmien valmistaja. Verkkosivu. Luettu 1.4.2015. http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126
- 23 PRE InfraFINBIM Inframodel-ryhmä. Inframodel –käyttöönotto-ohje versio 1.0. 2013. Verkkodokumentti. Luettu 6.4.2015. http://www.infrabim.fi/infrabim_uusi/Inframodel3-kayttoohje.pdf
- 24 Iso-Markku Mikko. YIT Rakennus Oy, vastaava työnjohtaja. Työmaahaastattelu 17.3.2015
- 25 PRE InfraFINBIM Inframodel-ryhmä. PRE/infraBIM tietomallivaatimukset ja –ohjeet. Osa 4. Rakennemallit; maa-, pohja- ja kalliorakenteet, päällys ja pintarakenteet. Verkkodokumentti. Luettu 6.4.2015.

http://www.rts.fi/infrabim/infrabim_uusi/mallinnusohjeita/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_4_20092013.pdf

- 26 Matkaviestinverkon kuuluvuus. Verkkosivu. Viestintävirasto. Luettu 6.4.2015.
<https://www.viestintavirasto.fi/internetpuhelin/puhelin-jalaajakaistaliittymantoimivuus/matkaviestinverkonkuuluvuus.html>
- 27 Airos, Korhonen, Pulkkinen. 2007. Satelliitipaikannusjärjestelmät. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos. Verkkodokumentti. Luettu 11.4.2015.
http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/658d1080428c8d79900bd2e60feb2862/PVTT_Julkaisu12.pdf?MOD=AJPERES
- 28 Mio Technology. Verkkosivu. Luettu 11.4.2015.
http://eu.mio.com/fi_fi/maailmanlaajuinen-paikannusjarjestelma_4992.htm
- 29 Kuva 17. Verkkodokumentti. Luettu 11.4.2015.
http://www.koneporssi.com/site/assets/files/39685/uutinen-3x2_1.jpg
- 30 Kuva 18. Verkkodokumentti. Luettu 11.4.2015.
http://www.novatron.fi/fi/images/boxes/uutiskuva23_iso.jpg
- 31 Piironen. 2011. 3D-koneohjausjärjestelmä kaivinkoneissa. Opinnäytetyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
- 32 Kuva 11. Verkkodokumentti. Luettu 11.4.2015. <http://www.mitta.fi/tukiasema.html>
- 33 Heikkilä, Jaakkola. 2005. Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Tienhallinnon selvityksiä 61/2004. Verkkodokumentti. Luettu 14.4.2015.
<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200915-vjohdatustienrakautom.pdf>
- 34 Lindqvist Antti. YIT Rakennus Oy, vastaava työnjohtaja. Työmaahaastattelu 14.4.2015
- 35 Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto 2008. Kruunuvuorenranta. Osayleiskaavan selostus. Verkkodokumentti. Luettu 15.4.2015.
http://www.hel.fi/hel2/ksv/julkaisut/julk_2008-15.pdf

Häiriötuntien seurantalomake

Seurantalomake koneohjauksen häiriötuntien määrittämiseksi.

Koneohjauksen ongelmat

Kone:

Koneohjauslaite: Scanlaser Novatron TopGeo

pvm	työtunnit	häiriötunnit	syy

Sytä voi olla esimerkiksi

1. signaalin esteet puut, massakasat, korkeuserot, muu?
2. laitteisto viat, antennit, anturit, näyttöpääte, muu?
3. ei tarpeeksi satelliitteja
4. suunnitelman puute, virhe, muu?

Muistilista koneohjausjärjestelmään liittyvien ongelmien poistamiseksi

Pieni muistilista, jonka avulla voidaan välttyä turhilta hukkatunneilta.

Muistilista koneohjauksen yleisimpien virheiden poistamiseksi.

Tässä on lyhyt muistilista, jossa käydään läpi turhien viivästyksien välttämiseksi mahdollisia ongelmakohtia koneohjausjärjestelmää harkitessa sekä sen käytössä työmaalla.

Työnjohto:

- 1 Satelliittisignaalin saatavuus tulee varmistaa alueilla, joissa on signaalia haittaavia tekijöitä, kuten sähkölinjoja, suuria puita, isoja massakasoja tai rakennuksia.
- 2 Tukiaseman asennus oikeaoppisesti: Tukevalle alustalle, antennin kiinnitys varmasti ja paikkaan jossa ei ole signaalin kuuluvuutta heikentäviä häiriötekijöitä sekä lähetystehon asetus oikealle lujuudelle.
- 3 Mittaoperaattorin kanssa tulee huolehtia siitä, että työvaiheen suunnitelmat ovat tehty ja koneohjausjärjestelmässä ennen töiden alkua.
- 4 Rakennepintojen nimeäminen sekä niiden läpikäynti mittaoperaattorin ja työkoneen kuljettajan kanssa.
- 5 Mittaoperaattorilla tarvittavat ohjelmistot suunnitelmien kääntämiseen/tekemiseen koneohjausjärjestelmän tukemaan muotoon.
- 6 Kaivinkoneenkuljettajan perehtyneisyys koneohjausjärjestelmän käyttöön, muista tuurarit

Tehty:

Koneenkuljettaja:

- 7 Aktiivinen tarkastus kauhan koron ja sijainnin asemasta ----> sovi mittamiehen kanssa tarkastuspisteiden sijainneista.
- 8 Kaivinkoneen eri kauhojen lisääminen järjestelmän tietokantaan, sekä tässä yhteydessä myös kauhojen kulumisen huomiointi ----> uudelleen kalibrointi.
- 9 Kauhaa vaihtaessa oikean kauhan valitseminen järjestelmästä.
- 10 Tarvittaessa kaivun ja täytön jälkeen rakennepintojen kiinniotto.

Rakennepintojen pintatunnukset

Kannattaa laatia jokaisesta eri kohteesta oma poikkileikkaus, johon lisätään pintatunnukset ja viedä se kuljettajalle työkoneen hyttiin muistin virkistämiseksi.

Ohessa aiemmissa YIT:n hankkeissa käytetyt pintatunnukset.

- Pintatunnukset:
 - 3 massanvaihto
 - 7 irtilouhinnan yläpinta
 - 10 ylin yhdistelmäpinta (valmis tierakenne)
 - 11 alin rakennepinta (alusrakenne)
 - 12 suodatinkerros
 - 13 jakava kerros
 - 14 kantava kerros

